

Treball de Fi de Màster

## **Màster en Enginyeria Industrial**

**Estudi dels perfils de conducció en les cruïlles  
semafòriques de vies de la ciutat de Barcelona i  
del seu efecte en el consum de combustible i  
emissions de contaminants dels vehicles que hi  
circulen.**

### **MEMÒRIA**

**Autor:** Cristina Blancafort Casas  
**Director:** M Antonia de los Santos Lopez  
**Convocatòria:** Setembre 2019



**Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona**





## Resum

En aquest document es presenta el treball realitzat per tal d'obtenir la caracterització de diferents cicles de conducció en diverses cruïlles de Barcelona regulades amb semàfor. A partir de dades experimentals, s'estima el consum de combustible dels vehicles que hi circulen i les emissions de contaminants produïdes per aquests. En el projecte es presenta una metodologia completa, que va des de l'obtenció de les dades reals fins a l'obtenció i l'anàlisi dels resultats finals. S'han fet servir programes de simulació a fi d'obtenir, per a un determinat vehicle, el consum i les emissions d'Òxids de Nitrogen (NOx) i Partícules en Suspensió (PM). Així mateix, s'ha estudiat si el comportament dels vehicles en les cruïlles que s'aturen i no s'aturen afecten a les emissions que es generen i al consum de combustible. També s'ha analitzat si altres variables, com el pendent i la velocitat mitjana influeixen en el consum de combustible i en les emissions.

En la fase d'experimentació es mostra com s'han obtingut els perfils de velocitat reals a partir de la recollida de dades, mitjançant una eina informàtica i circulant en un vehicle per les cruïlles d'estudi seguint uns itineraris concrets. També es presenta una manera alternativa de conèixer les intensitats de vehicles en determinades cruïlles i la comparativa amb els valors oficials.

És amb aquestes dades que, introduint-les a un simulador de vehicles, l'Advisor, s'han fet les diferents estimacions de consum i emissions i s'han pogut dimensionar els volums de NOx i PM que s'emeten en determinades cruïlles i en unes franges horàries concretes. L'estudi s'ha fet suposant que tots els vehicles són Dièsel .

S'han obtingut resultats fermes a partir de la metodologia utilitzada i s'ha observat la incidència de les diferents simplificacions que sovint s'utilitzen en el càlcul del consum i consegüentment de les emissions.

El present treball deixa obertes diferents vies d'investigació i introdueix una metodologia que permetria estudiar més profundament la contaminació de Barcelona.



# Sumari

|   |           |
|---|-----------|
| <b>RESUM</b>  | <b>3</b>  |
| <b>SUMARI</b>   | <b>5</b>  |
| <b>ÍNDIX DE TAULES</b>  | <b>7</b>  |
| <b>ÍNDIX DE FIGURES</b>   | <b>10</b> |
| <b>1. GLOSSARI</b>  | <b>13</b> |
| <b>2. INTRODUCCIÓ</b>   | <b>14</b> |
| 2.1. Objectius del projecte .....   | 14        |
| 2.2. Abast del projecte .....   | 15        |
| 2.3. Metodologia .....  | 15        |
| <b>3. EINES INFORMÀTIQUES EMPRADES</b>                                      | <b>16</b> |
| 3.1. Eines informàtiques per l'obtenció de les dades .....                  | 16        |
| 3.1.1. Aplicació mòbil .....  | 16        |
| 3.1.2. On Board Diagnostics (OBD) .....                                     | 16        |
| 3.2. Eines informàtiques per al tractament i verificació de les dades ..... | 17        |
| 3.2.1. QGIS .....   | 17        |
| 3.2.2. Matlab .....   | 17        |
| 3.3. Eina informàtica emprada per realitzar simulacions .....               | 17        |
| 3.3.1. Advisor .....  | 17        |
| <b>4. PROCÉS D'EXPERIMENTACIÓ</b>   | <b>18</b> |
| 4.1. Cruïlles i franges horàries escollides .....                           | 18        |
| 4.2. Comptatge dels vehicles .....  | 24        |
| 4.2.1. Eina de detecció de vehicles .....                                   | 24        |
| 4.2.2. Comptatge manual de vehicles .....                                   | 25        |
| 4.3. Obtenció de les dades .....  | 25        |
| <b>5. RESULTATS DE L'EXPERIMENTACIÓ</b>                                     | <b>27</b> |
| 5.1. Comptatge de vehicles .....  | 27        |
| 5.1.1. Resultats .....  | 27        |
| 5.1.2. Verificació de les dades obtingudes .....                            | 28        |
| 5.2. Determinació dels cicles de conducció .....                            | 30        |
| 5.2.1. Verificació i tractament de les dades .....                          | 30        |
| 5.2.2. Cicles obtinguts .....   | 42        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>6. ANÀLISIS DELS RESULTATS</b>                                | <b>44</b> |
| 6.1. Estimació i anàlisi del consum i les emissions.....         | 44        |
| 6.1.1. Cruïlla Aragó – Comte Urgell .....                        | 44        |
| 6.1.1.1. Aragó .....   | 45        |
| 6.1.1.2. Comte Urgell amb Aragó.....                             | 47        |
| 6.1.1.3. Cruïlla.....  | 51        |
| 6.1.2. Cruïlla València – Comte Urgell .....                     | 52        |
| 6.1.2.1. Carrer València .....                                   | 52        |
| 6.1.2.2. Carrer Comte Urgell amb València.....                   | 54        |
| 6.1.2.3. Cruïlla.....  | 57        |
| 6.1.3. Cruïlla Av. Roma – Comte Urgell .....                     | 58        |
| 6.1.3.1. Av. Roma .....  | 58        |
| 6.2. Comparació de Resultats.....                                | 60        |
| 6.2.1. Comparació carrer Aragó, carrer València i Av. Roma ..... | 60        |
| 6.2.2. Comparació entre trams del carrer Comte Urgell.....       | 62        |
| 6.2.3. Comparació de cruïlles .....                              | 64        |
| <b>7. PRESSUPOST</b>   | <b>72</b> |
| <b>8. IMPACTE AMBIENTAL</b>                                      | <b>73</b> |
| <b>CONCLUSIONS</b>   | <b>74</b> |
| <b>TREBALLS FUTURS</b>   | <b>75</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA</b>  | <b>76</b> |
| Referències bibliogràfiques .....                                | 76        |

## Índex de taules

|   |    |
|---|----|
| Taula 4.1: IMD de les principals vies de la ciutat. Font: Ajuntament de Barcelona.....                            | 19 |
| Taula 4.2: Número de repeticions per cada itinerari. Font: Elaboració pròpia .....                                | 24 |
| Taula 5.1: Comptatge de vehicles en un cycle de semàfor en hora punta. Font: Elaboració pròpia .....              | 27 |
| Taula 5.2: Comptatge de vehicles en un cycle de semàfor en hora vall. Font: Elaboració pròpia .....               | 27 |
| Taula 5.3: Comptatge de vehicles expressant en vehicles/hora en hora punta. Font: Elaboració pròpia .....         | 28 |
| Taula 5.4: Comptatge de vehicles expressant en vehicles/hora en hora vall. Font: Elaboració pròpia .....          | 28 |
| Taula 5.5: Diferència entre la IMH experimental i la de l'Ajuntament en hora punta. Font: Elaboració pròpia ..... | 29 |
| Taula 5.6: Diferència entre la IMH experimental i la de l'Ajuntament en hora vall. Font: Elaboració pròpia .....  | 29 |
| Taula 5.7: Camps obtinguts amb l'OBD .....  | 30 |
| Taula 5.8: Número de cycles que s'extrauran per cada un dels itineraris.....                                      | 34 |
| Taula 5.9: Resum dels cycles obtinguts a la cruïlla Aragó - Comte Urgell.....                                     | 42 |
| Taula 5.10: Resum dels cycles obtinguts a la cruïlla València - Comte Urgell.....                                 | 42 |
| Taula 5.11: Resum dels cycles obtinguts a la cruïlla Av. Roma - Comte Urgell.....                                 | 43 |
| Taula 6.1: Consums i emissions al carrer Aragó .....  | 45 |
| Taula 6.2: Consums i emissions al carrer Aragó .....  | 46 |
| Taula 6.3: Comparació de consums i emissions .....  | 46 |
| Taula 6.4: Consums i emissions al carrer Urgell .....   | 47 |
| Taula 6.5: Consums i emissions al carrer Urgell .....   | 50 |

|   |    |
|---|----|
| Taula 6.6: Comparació de consums i emissions .....  | 51 |
| Taula 6.7: Comparació de consum de combustible i emissions en la cruïlla Aragó-Comte Urgell.....                                      | 51 |
| Taula 6.8: Comparació de resultats cruïlla Aragó - Comte Urgell.....  | 52 |
| Taula 6.9. Consums i emissions al carrer Urgell .....   | 53 |
| Taula 6.10: Consum i emissions carrer València .....  | 53 |
| Taula 6.11: Consum i emissions carrer València amb el mateix valor de distància recorreguda.....                                      | 53 |
| Taula 6.12: Consum i emissions al carrer Urgell .....   | 54 |
| Taula 6.13: Consum i emissions carrer Urgell.....   | 56 |
| Taula 6.14: Comparació de combustible consumit i emissions NOx i PM .....   | 56 |
| Taula 6.15: Comparació de consum de combustible i emissions en la cruïlla València-Comte Urgell.....                                  | 57 |
| Taula 6.16: Comparació de resultats cruïlla València - Comte Urgell.....  | 57 |
| Taula 6.17: Consums i emissions a Avinguda Roma .....   | 58 |
| Taula 6.18: Consums i emissions a l'Avinguda Roma.....  | 60 |
| Taula 6.19: Comparació de consums i emissions a l'Avinguda Roma .....   | 60 |
| Taula 6.20: Comparació de les dades de consum i emissions del carrer Aragó, carrer València i Av. Roma.....                           | 61 |
| Taula 6.21: Comparació de les dades de consum i emissions del carrer Aragó, carrer València i Av. Roma, tenint en compte les IMH..... | 61 |
| Taula 6.22: Comparació de les dades de consum i emissions del carrer Aragó, carrer València i Av. Roma.....                           | 62 |
| Taula 6.23 Comparació d'emissions i consum de combustible pel carrer Comte Urgell.....  | 62 |
| Taula 6.24: Comparació consums i emissions Comte Urgell amb Aragó i amb València ....   | 63 |
| Taula 6.25: Consums i emissions Comte Urgell amb Av. Roma .....   | 64 |



Taula 6.26: Comparació d'emissions i consum entre cruïlles ..... 71

## Índex de figures

|   |    |
|---|----|
| Figura 4.1: Cruïlles semafòriques estació de tràfic I. Font: OpenStreetMap, elaboració pròpia ..... | 19 |
| Figura 4.2: Corba de distribució horària del trànsit 2012. Font: Ajuntament de Barcelona ...        | 20 |
| Figura 4.3: Itinerari 1. Font: Open Street Maps, elaboració pròpia .....                            | 21 |
| Figura 4.4: Itinerari 2. Font: Open Street Maps, elaboració pròpia .....                            | 21 |
| Figura 4.5: Itinerari 3. Font: Open Street Maps, elaboració pròpia .....                            | 22 |
| Figura 4.6: Itinerari 4. Font: Open Street Maps, elaboració pròpia .....                            | 22 |
| Figura 4.7: Itinerari 5. Font: Open Street Maps, elaboració pròpia .....                            | 23 |
| Figura 4.8: Itinerari 6. Font: Open Street Maps, elaboració pròpia .....                            | 23 |
| Figura 5.1: Selecció del traçat .....   | 31 |
| Figura 5.2: Cicles carrer Aragó.....  | 32 |
| Figura 5.3: Cicles carrer Comte Urgell .....  | 33 |
| Figura 5.4: Pas 1. Font: Open Street Maps, elaboració pròpia.....                                   | 34 |
| Figura 5.5: Problema del retall. Font: Open Street Maps, elaboració pròpia .....                    | 35 |
| Figura 5.6: Trams Aragó .....   | 36 |
| Figura 5.7: Relació alçada - distància recorreguda carrer Aragó per dos cicles diferents ....       | 37 |
| Figura 5.8: Relació alçada - distància recorreguda carrer Aragó.....                                | 37 |
| Figura 5.9: Relació alçada - distància recorreguda carrer Comte Urgell amb Aragó.....               | 38 |
| Figura 5.10: Relació alçada - distància recorreguda carrer Comte Urgell amb Avinguda Roma .....     | 38 |
| Figura 5.11: Relació alçada - distància recorreguda carrer Comte Urgell amb València.....           | 38 |
| Figura 5.12: Relació alçada - distància recorreguda carrer València .....                           | 39 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 5.13: Relació alçada - distància recorreguda a l'Avinguda Roma.....                              | 39 |
| Figura 5.14: Pendents obtinguts aplicant diferents models de càlcul .....                               | 40 |
| Figura 5.15: Pendent dels cicles d'Av. Roma .....   | 41 |
| Figura 5.16: Pendent dels cicles d'Av. Roma .....   | 41 |
| Figura 6.1: Consum de combustible en funció de la distància recorreguda.....                            | 45 |
| Figura 6.2: Emissions NOx i PM en funció del combustible consumit .....                                 | 46 |
| Figura 6.3: Consum de combustible en funció de la distància recorreguda.....                            | 47 |
| Figura 6.4: Emissions NOx i PM en funció del combustible consumit .....                                 | 48 |
| Figura 6.5: Emissions NOx i PM en funció del combustible consumit .....                                 | 49 |
| Figura 6.6: Velocitat instantània en funció del temps.....  | 49 |
| Figura 6.7: Consum de combustible en funció de la distància recorreguda.....                            | 50 |
| Figura 6.8: Consum de combustible en funció de la distància recorreguda.....                            | 54 |
| Figura 6.9: Consum de combustible en funció de la distància recorreguda.....                            | 55 |
| Figura 6.10: Emissions NOx i PM en funció del combustible consumit .....                                | 55 |
| Figura 6.11: Consum de combustible segons la distància recorreguda a l'Avinguda Roma.                   | 59 |
| Figura 6.12: Emissions NOx i PM en funció del combustible consumit .....                                | 59 |
| Figura 6.13: Velocitat mitjana segons carrer amb cicles de semàfor tancat .....                         | 64 |
| Figura 6.14: Velocitat mitjana segons carrer amb cicles de semàfors obert.....                          | 65 |
| Figura 6.15: Consums segons carrer amb cicles de semàfor tancat.....                                    | 65 |
| Figura 6.16: Consums segons carrer amb cicles de semàfor obert.....                                     | 66 |
| Figura 6.17: Consums de combustible en funció de la velocitat mitjana amb cicles de semàfor tancat..... | 66 |
| Figura 6.18: Consums de combustible en funció de la velocitat mitjana amb cicles de semàfor obert ..... | 67 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 6.19: Emissions NOx i PM tots els carrers agrupant cicles semàfor tancat.....                                     | 68 |
| Figura 6.20: Emissions NOx i PM tots els carrers agrupant cicles semàfor obert.....                                      | 68 |
| Figura 6.21: Emissions NOx i PM en funció del consum de combustible tots els carrers agrupant cicles semàfor tancat..... | 69 |
| Figura 6.22: Emissions NOx i PM en funció del consum de combustible tots els carrers agrupant cicles semàfor obert ..... | 69 |
| Figura 6.23: Emissions NOx i PM en funció del consum de combustible tots els carrers agrupant cicles semàfor tancat..... | 70 |
| Figura 6.24: Emissions NOx i PM en funció del consum de combustible tots els carrers agrupant cicles semàfor obert ..... | 70 |

## 1. Glossari

OBD: On Board Diagnostics

Advisor: Advanced Vehicle Simulator.

IMD: Intensitat Mitjana diària de vehicles

IMH: Intensitat Mitjana horària de vehicles

NOx: Òxids de Nitrogen

PM: Partícules en suspensió, s'usa indistintament de si són de diàmetre 10 o 2,5  $\mu\text{m}$ .

rpm: Revolucions per minut

## 2. Introducció

Actualment, la contaminació que es pateix a nivell mundial és un aspecte preocupant i des de fa anys s'estan estudiant diferents maneres per reduir-la. Segons l'Organització Mundial de la Salut (OMS) un dels principals factors d'aquesta contaminació són els gasos que emeten els vehicles [1]. Aproximadament, mig milió de persones a Europa moren a causa de la contaminació. La majoria de les quals es poden atribuir a la pol·lució de l'aire, gran part de la qual és causada pels vehicles [2].

A nivell europeu, des del 1988 que va néixer la normativa EURO, és a dir, la normativa europea sobre emissions. Aquesta s'ha anat fent cada vegada més restrictiva amb la EURO 6 i a l'espera de la implantació de la EURO 7 al 2020 [3]. A Europa ja hi ha 280 ciutats que han implantat zones de restricció de tràfic [4], com per exemple Londres on s'ha de pagar una taxa per circular per bona part de la ciutat o bé Brussel·les on els cotxes dièsel han de complir la EURO 3 per poder circular pel centre de la ciutat [5]. Pel que fa a Barcelona, la restricció de tràfic és només en episodis d'alta contaminació en la zona limitada per Rondes.

El consum de combustible dels vehicles que circulen per una via i les conseqüents emissions de gasos contaminants són funció dels perfils de conducció en les vies així com del seu pendent. Aquests perfils estan caracteritzats per la velocitat i l'acceleració.

Gràcies a estudis previs sobre l'estimació d'emissions de contaminants a Barcelona [6] se sap que la congestió del trànsit és una de les principals variables que afecta a la contaminació. A més a més, els punts de màximes acceleracions en una via urbana són conflictius i generen gran part de la quantitat d'emissions emeses pels vehicles. Aquests punts es produeixen sobretot, en els semàfors. Per aquest motiu es vol estudiar més profundament algunes de les cruïlles de Barcelona.

Per tal d'avaluar el consum i les emissions de contaminants en una cruïlla caldrà caracteritzar-la des del punt de vista de velocitat i acceleració per diferents franges horàries i a partir d'aquesta caracterització aplicar els models de consum i emissions.

### 2.1. Objectius del projecte

L'objectiu d'aquest treball és establir, per a determinats períodes de temps, els perfils de velocitat en una cruïlla regulada amb semàfor, en funció de la situació trobada per cada vehicle a l'arribar al mateix- tancat, obert- , i determinar el percentatge de vehicles que a l'arribar al semàfor segueixen els perfils establerts. A partir dels perfils seguits i dels percentatge de vehicles que els segueixen, s'estableix el consum de combustible i les

emissions en la cruïlla mitjançant simulació. A més a més, es vol veure l'efecte de diferents característiques de la cruïlla en les emissions produïdes. Es realitza l'anàlisi per cruïlles de diverses vies de la ciutat de Barcelona.

## **2.2. Abast del projecte**

L'abast d'aquest projecte és l'estudi i anàlisi d'unes cruïlles concretes de Barcelona. Es recolliran les dades seguint una metodologia concreta que s'explica més endavant. Un cop es tinguin les dades es procedirà amb el tractament d'aquestes per posteriorment realitzar diverses simulacions i obtenir resultats per assolir l'objectiu del projecte.

## **2.3. Metodologia**

En aquest apartat s'explica la metodologia per dur a terme aquest projecte.

Es comença per l'etapa d'experimentació. Primerament es determinen quines són les cruïlles que s'estudiaran i en quines franges horàries. A partir d'aquí s'ha de realitzar dues tasques més. Per una banda, dur a terme el comptatge dels vehicles que circulen per les cruïlles per tal de dimensionar el flux de vehicles en les cruïlles escollides. Per altra banda, s'han d'adquirir les dades necessàries per dur a terme el projecte. Aquestes dades a obtenir són les del perfil de velocitat i acceleracions de cada cruïlla i es capturen mitjançant una eina informàtica que s'explica més endavant. Aquesta, permet el registre de diferents variables que es generen en la conducció.

En segon lloc, es tracten i es verifiquen les dades obtingudes per tal d'aconseguir la caracterització dels perfils de conducció. A més a més, es calcula el pendent de cada punt obtingut gràcies a un Programa d'Informació Geogràfica que permet calcular l'alçada de cada punt. També es validen els resultats obtinguts en el comptatge de vehicles.

Per acabar, s'introdueixen els cicles caracteritzats en un simulador de vehicles, l'Advisor. A partir d'aquí, s'estimen els consums i les emissions generades en els cicles. Es realitzen comparacions entre els resultats obtinguts i s'extreuen les conclusions pertinents. En aquest moment, s'utilitzen les dades del comptatge de vehicles per a dimensionar les emissions i el consum que es produeix en una cruïlla determinada i en una hora concreta segons els resultats de les simulacions efectuades.

### 3. Eines informàtiques emprades

En aquest apartat s'expliquen les diferents eines informàtiques utilitzades per poder dur a terme la metodologia explicada anteriorment.

Les eines informàtiques es divideixen en tres grups, les emprades per obtenir les dades en el procés d'experimentació, les de tractament i verificació de les dades i finalment, l'eina informàtica utilitzada per dur a terme les diferents simulacions.

Es realitza una breu descripció d'aquestes i es comenta breument perquè seran utilitzades.

#### 3.1. Eines informàtiques per l'obtenció de les dades

##### 3.1.1. Aplicació mòbil

Per tal de dur a terme la recollida de dades experimentals i caracteritzar posteriorment el cicle de conducció, una de les eines informàtiques emprades és una aplicació mòbil que enregistra dades relatives al cicle de conducció. Aquestes dades són les acceleracions, les coordenades geogràfiques, la velocitat instantània i la distància recorreguda, i un rellotge amb precisió de mil·lisegons (ms). L'aplicació marca el moment en que es produeix cada enregistrament i recull unes 10 mostres d'acceleració per cada registre de localització, velocitat i distància.

##### 3.1.2. On Board Diagnostics (OBD)

L'OBD, és un mecanisme que es connecta directament amb el motor del vehicle i les dades queden registrades al mòbil mitjançant l'aplicació *Torque*. Aquest permet recollir les mateixes dades que l'aplicació mòbil, és a dir, coordenades geogràfiques, acceleracions, velocitat instantània i distància recorreguda. L'OBD recull una mostra d'acceleració per cada registre de localització i velocitat, que es produeix cada segon. També permet recollir dades d'emissions que com a pas futur es podrien comparar amb les emissions obtingudes en les simulacions.



## **3.2. Eines informàtiques per al tractament i verificació de les dades**

### **3.2.1. QGIS**

Al treballar amb dades georeferenciades, es necessari utilitzar alguna eina informàtica que permeti verificar les dades i descartar les errònies podent visualitzar-les en un mapa. Es conclou que el programa més adequat és el QGIS, un Software d'Informació Geogràfica (SIG) basat en codi obert i àmpliament utilitzat. Per una banda, s'utilitza per visualitzar les dades i crear mapes personalitzats. Per altra banda, permet obtenir l'alçada sobre el nivell del mar dels diferents punts que serà necessària per l'obtenció del pendent.

### **3.2.2. Matlab**

Per tal de gestionar i tractar el gran volum de dades s'utilitza el Matlab. S'han utilitzat scripts i funcions en aquest llenguatge de programació i s'ha creat un codi propi per tal d'aconseguir els objectius del treball.

## **3.3. Eina informàtica emprada per realitzar simulacions**

### **3.3.1. Advisor**

El software de simulació conegut com Advisor (Advanced Vehicle Simulator), va ser desenvolupat pel U.S Department of Energy (DOE) i el National Renewable Energy Laboratory (NREL) conjuntament amb diferents indústries del sector automobilístic. Aquest simulador es crea sobre Matlab i permet calcular les emissions i els consums, a més a més, del parell motor i la potència, d'un vehicle segons el cicle de conducció especificat. És necessari configurar el vehicle prèviament. Aquest és el software utilitzat per avaluar els perfils de conducció i també extreure resultats. Per tal d'introduir correctament el perfil de conducció cal conèixer les velocitats en cada instant de temps i el pendent a cada tram, és a dir, el pendent segons els metres recorreguts. Pel que fa al vehicle el programa té en compte molts aspectes que es poden configurar. Un cop introduïdes totes les dades i configurat el vehicle es podran extreure variables com les emissions i el consum de combustible. En aquest projecte s'utilitzaran els cicles de conducció personalitzats per tal de dur a terme les diferents simulacions.

## 4. Procés d'experimentació

En aquest apartat s'explica la metodologia seguida per recollir les dades necessàries per dur a terme el projecte.

### 4.1. Cruïlles i franges horàries escollides

Aquest projecte vol estudiar l'efecte de les cruïlles en la contaminació causada pels vehicles i en un futur poder avaluar quin impacte tenen les cruïlles en la contaminació total de Barcelona. Per aquest motiu s'estudien cruïlles semafòriques que es troben a prop d'una estació de vigilància i previsió atmosfèrica de Barcelona.

L'Ajuntament de Barcelona controla la qualitat de l'aire gràcies a onze estacions de vigilància i previsió atmosfèrica que es troben situades a diferents parts de Barcelona. Concretament hi ha tres subtipus d'estacions [7]:

- Estacions de fons urbà: Palau Reial, Zona Universitària, Sants, Parc de la Ciutadella (IES Verdaguer), Poblenou, Vall d'Hebron.
- Estacions de suburbà: IES Goya.
- Estacions de tràfic: L'Eixample, Universitat, Gràcia-Sant Gervasi.

El primer pas per poder determinar quines són les cruïlles a estudiar, és decidir la zona que més interessa analitzar. Es redueixen les zones d'estudi a totes aquelles que es troben a prop d'una estació de vigilància i previsió atmosfèrica de tipus tràfic, per tant les possibles zones són l'Eixample, Universitat i Gràcia-Sant Gervasi. Per tal d'escollir entre aquestes tres zones es busca quins són els carrers amb més flux de vehicles, consultant les dades que publica l'Ajuntament de Barcelona sobre la Intensitat Mitjana Diària (IMD) de vehicles a les vies principals de la ciutat [8]. La Taula 4.1 mostra aquestes dades que es presenten anualment<sup>1</sup>. Observant la taula 4.1 i tenint en compte les tres possibles zones d'estudi, es veu com tres dels carrers que envolten l'estació de vigilància de l'Eixample apareixen a la taula com part dels carrers amb més volum de trànsit. Per tant, d'acord amb el criteri de màxima IMD, es determina que la zona que s'ha d'estudiar és la de l'Eixample.

---

<sup>1</sup> Les dades corresponents al 2016 són les darreres publicades en el moment d'elaborar aquest document.



Després de tenir determinades les cruïlles a estudiar s'ha de decidir quina és la franja horària més adequada per fer l'estudi. Per decidir-ho, s'utilitza un document de l'ajuntament de Barcelona que facilita les dades de circulació per hora l'any 2012 [7], tal com es pot veure a la figura 4.2.

Aquest tipus de gràfic s'obté combinant les Intensitats Mitjanes Horàries (IMH) per a cada hora del dia amb la Intensitat Mitjana Diària (IMD). Com es pot comprovar en el mateix document [9] i a la taula 4.1, les IMD no han variat substancialment en el període 2012-2016 i es pot suposar que entre 2015 i l'actualitat tampoc.

L'hora punta és la franja que interessa més donat que és quan es produeix una aglomeració major de vehicles. Veient la figura 4.2, es decideix que la franja horària més adequada per prendre dades és de 8 a 10h del matí. També, es determina que les adquisicions de dades es faran només en dies laborables i lectius que és quan hi ha un volum de trànsit major.

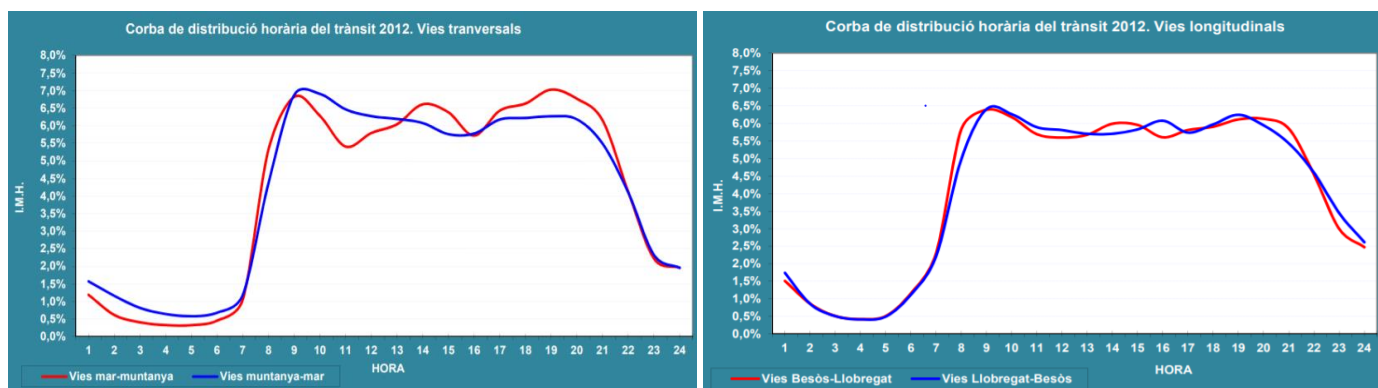


Figura 4.2: Corba de distribució horària del trànsit 2012. Font: Ajuntament de Barcelona

Decidides les cruïlles d'estudi i les franges horàries, es vol determinar el mètode més adequat per obtenir les dades que permetin caracteritzar cada una de les cruïlles. El primer pas, és establir quins són els itineraris que s'han de seguir. Aquests, han de permetre obtenir les dades necessàries per cada una de les cruïlles, per tal de poder caracteritzar-les. Amb el terme itinerari es fa referència a quin camí s'ha de seguir amb el cotxe per passar pels dos semàfors d'una cruïlla en concret.

Per determinar quins són els itineraris més adients, es dedica un dia de 8 a 10h del matí a realitzar diferents itineraris al voltant de les cruïlles. Es va canviant l'itinerari per tal d'agafar un semàfor en obert o tancat. Un dels objectius és aconseguir itineraris que no requerixin molt de temps, ja que es vol obtenir el màxim de dades possibles en el període de temps de 8 a 10h. D'aquest primer procés d'experimentació s'extreuen tres itineraris per la cruïlla d'Aragó-Comte Urgell, un dels quals permet trobar-se majoritàriament els dos semàfors tancats i els altres dos permet trobar-se un semàfor en obert i l'altre en tancat i viceversa. En el cas de València-Comte Urgell també es determinen tres itineraris que representen el mateix que els tres itineraris anteriors. A més a més, un dels tres permet analitzar la cruïlla d'Avinguda Roma.



Els itineraris establerts per a la presa de dades de la cruïlla Aragó-Comte Urgell són els següents:

Itinerari 1: La majoria de les repeticions d'aquest itinerari es troba el semàfor d'Aragó i el de Comte Urgell tancats

C/Villarroi – C/Aragó – C/Comte Borrell – C/Consell de Cent – C/Comte Urgell – C/València

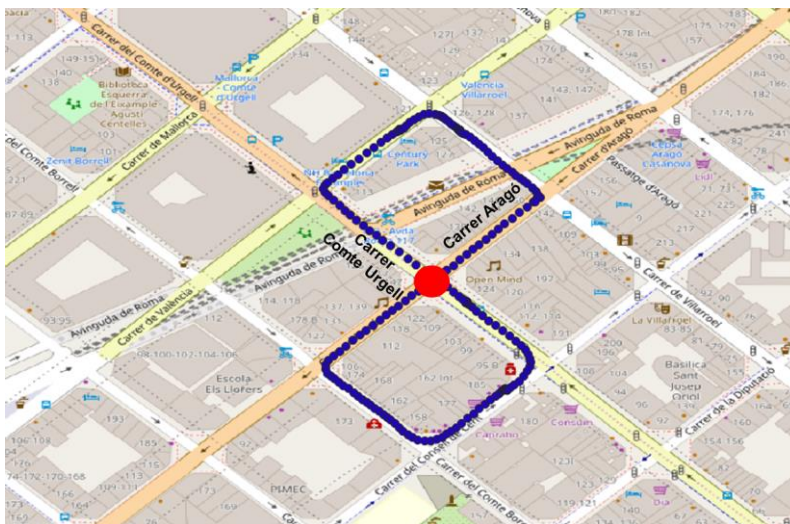


Figura 4.3: Itinerari 1. Font: Open Street Maps, elaboració pròpia

Itinerari 2: La majoria de les repeticions d'aquest itinerari es troba el semàfor d'Aragó obert i el de Comte Urgell tancat

C/Muntaner – C/Aragó – C/Comte Borrell – C/Consell de Cent – C/Comte Urgell – C/València

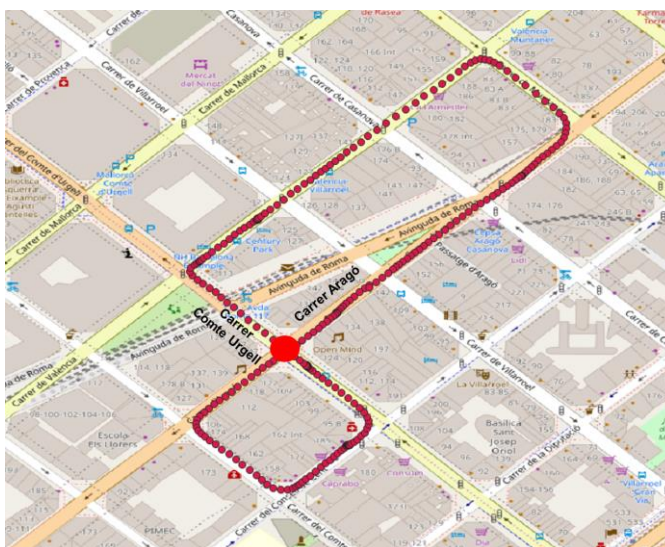


Figura 4.4: Itinerari 2. Font: Open Street Maps, elaboració pròpia

**Itinerari 3:** La majoria de les repeticions d'aquest itinerari es troba el semàfor d'Aragó tancat i el de Comte Urgell obert

C/Villarroel – C/Aragó – C/Comte Borrell – Gran Via – C/Comte Urgell – C/València

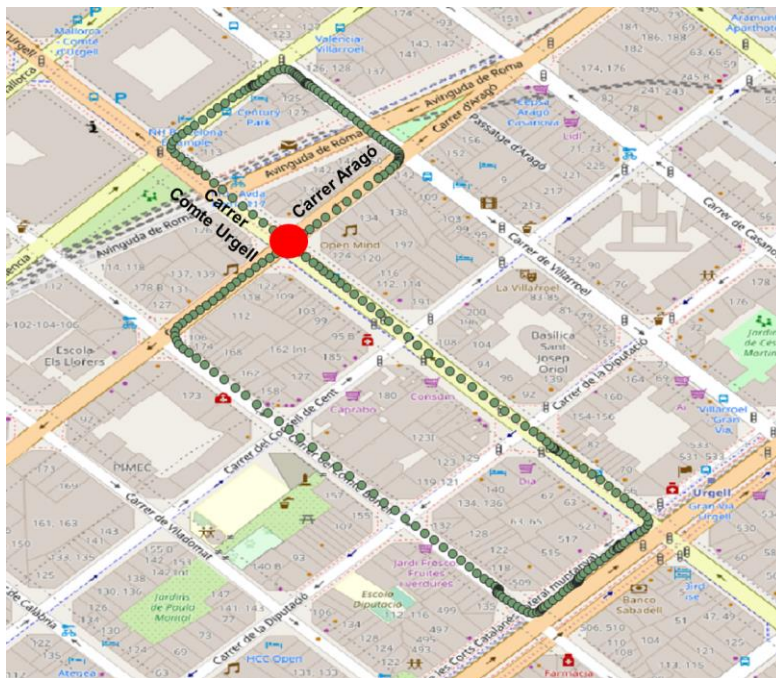


Figura 4.5: Itinerari 3. Font: Open Street Maps, elaboració pròpia

A continuació, es mostren els itineraris determinats per l'estudi de les cruïlles València – Comte Urgell i Av. Roma – Comte Urgell.

Els itineraris establerts són els següents:

**Itinerari 4:** La majoria de les repeticions d'aquest itinerari es troba el semàfor de València obert i el de Comte Urgell tancat

Av. Roma – C/Comte Urgell – C/Mallorca – C/Viladomat – C/València

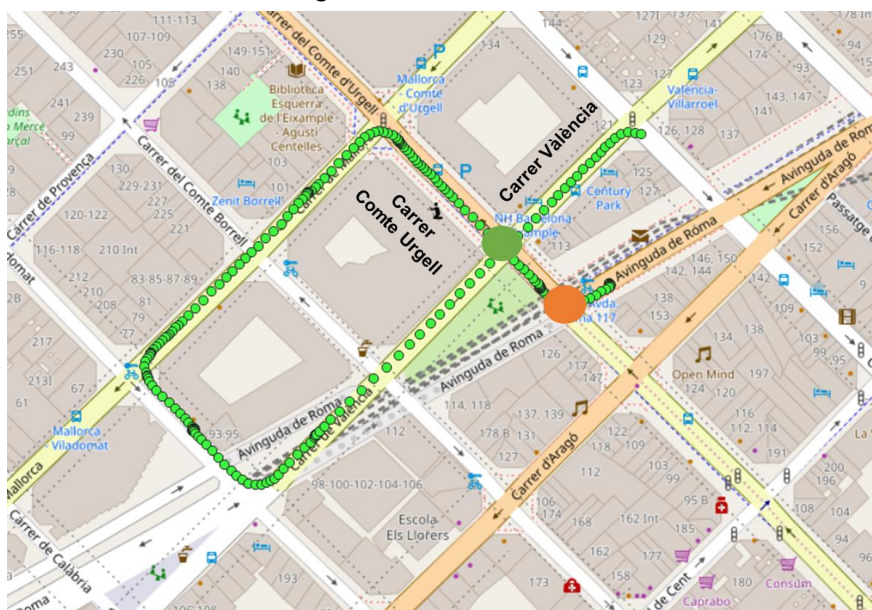


Figura 4.6: Itinerari 4. Font: Open Street Maps, elaboració pròpia



**Itinerari 5:** La majoria de les repeticions d'aquest itinerari es troba el semàfor de València i el de Comte Urgell oberts

C/Comte Urgell – C/Mallorca – C/Viladomat – C/València

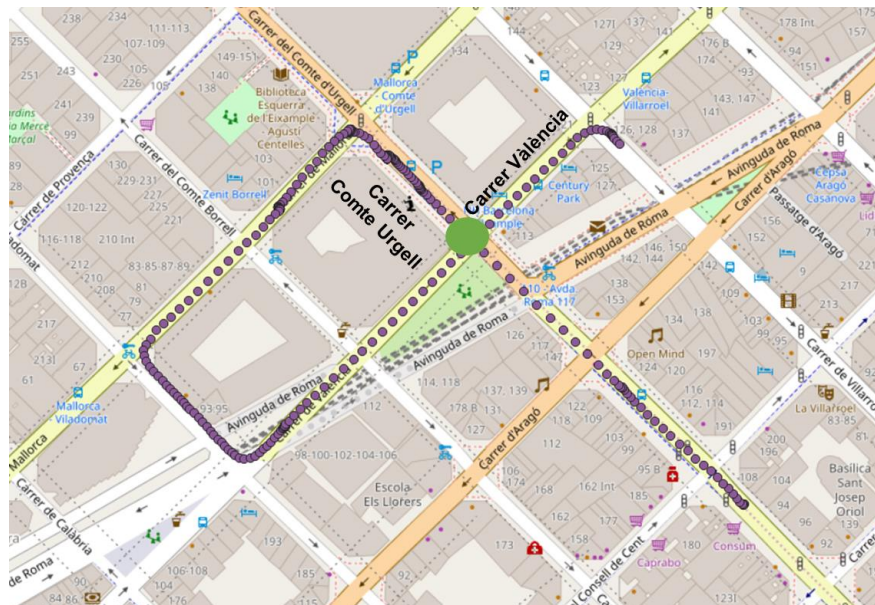


Figura 4.7: Itinerari 5. Font: Open Street Maps, elaboració pròpia

**Itinerari 6:** La majoria de les repeticions d'aquest itinerari es troba el semàfor de València tancat i el de Comte Urgell obert

C/Comte Urgell – C/Mallorca – C/Roquefort– Av. Roma – Carrer València

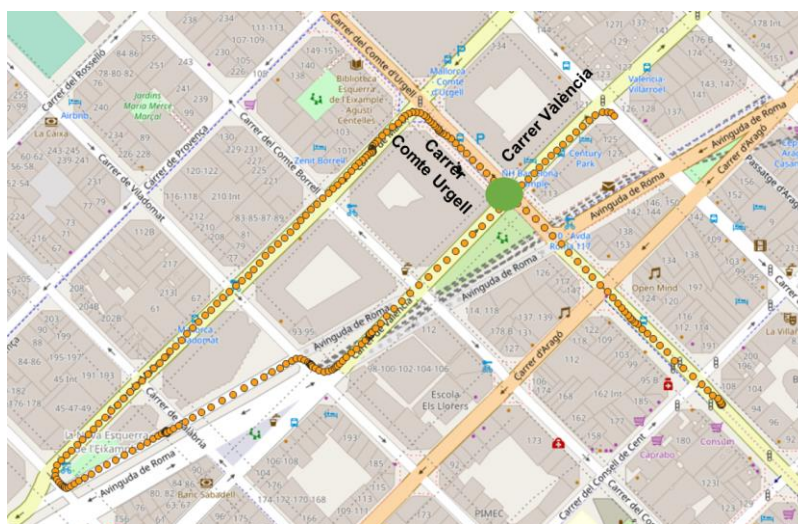


Figura 4.8: Itinerari 6. Font: Open Street Maps, elaboració pròpia

Pel que fa al nombre de repeticions de cada itinerari, aquest és diferent per dos motius. Primer, es prioritza aturar-se en el semàfor perquè és quan teòricament es produeixen més emissions i és el que es vol estudiar. I segon, perquè hi ha itineraris que són més llargs i no es poden repetir tantes vegades com altres. A la taula 4.2 es mostra el número de repeticions de cada itinerari.

| Número de repeticions                           |             |    |
|---|-------------|----|
| <b>ARAGÓ –<br/>COMTE URGELL</b>                 | Itinerari 1 | 15 |
|   | Itinerari 2 | 6  |
|   | Itinerari 3 | 6  |
| <b>VALÈNCIA-<br/>COMTE URGELL-<br/>AV. ROMA</b> | Itinerari 4 | 9  |
|   | Itinerari 5 | 5  |
|   | Itinerari 6 | 4  |

Taula 4.2: Número de repeticions per cada itinerari. Font: Elaboració pròpia

## 4.2. Comptatge dels vehicles

Tal com s'ha explicat, per tal d'assolir l'objectiu del projecte és necessari quantificar les cruïlles, és a dir, conèixer el número de cotxes que s'aturen a un semàfor i la quantitat d'automòbils que no s'aturen. En el transcurs del projecte, s'han estudiat dues opcions per realitzar aquest dimensionament que s'expliquen a continuació.

### 4.2.1. Eina de detecció de vehicles

En un primer moment, es va voler quantificar el número de vehicles mitjançant una eina de detecció de vehicles [10]. De manera resumida, aquesta eina és un software on es pot introduir un vídeo i el propi software tracta la imatge per reconèixer els objectes, en aquest cas els vehicles.

Quan es va intentar utilitzar aquesta eina es va trobar diversos inconvenients. En primer lloc, les ombres d'altres objectes com per exemple arbres, causaven problemes alhora de que el software pogués llegir el vídeo correctament. Per tant, calia gravar en dies que no fossin molt assolellats. També, per tal que el software llegís correctament el vídeo calia gravar des d'una posició elevada, fet que és bastant complicat a Barcelona degut a que no es fàcil poder entrar en un edifici que no s'hi té accés. Per tant, per aquests motius comentats es va decidir descartar aquesta opció.



#### **4.2.2. Comptatge manual de vehicles**

L'opció escollida és realitzar el comptatge manualment. Es considera que amb un nombre reduït de mostres és suficient per analitzar el comportament d'aquestes cruïlles.

El procés de comptatge serà el següent: a cada cruïlla hi ha dos semàfors, un a cada carrer. Per exemple, a la cruïlla Aragó – Comte Urgell hi ha el semàfor d'Aragó i el de Comte Urgell. El cas de València – Comte Urgell i Av. Roma – Comte Urgell és el mateix. Es realitza el comptatge de vehicles de tot un cicle d'un semàfor, és a dir, tancat-obert. El que es vol és conèixer els cotxes que s'aturen i els que no, de la mateixa manera que es pot saber els cotxes que es van acumulant quan el semàfor es troba tancat i provenen d'altres carrers. Un cop realitzat aquest comptatge es realitza el mateix procediment per l'altre semàfor de la mateixa cruïlla i posteriorment es canvia a un altre encreuament. Aquest procés es realitza dues vegades per cada cruïlla.

Tenint en compte que és molt difícil comptar tots els cotxes quan el semàfor es troba en verd i també és complicat quantificar els cotxes que es van acumulant quan el semàfor es troba tancat, s'ha decidit gravar tot un cicle d'un semàfor per tal de realitzar després el comptatge veient el vídeo.

Per acabar, s'ha determinat que es farà el comptatge en hora punta i també en hora vall per tal de poder comparar les dades i veure com varia el flux de vehicles per la cruïlla.

#### **4.3. Obtenció de les dades**

En aquest apartat, es discuteixen les dues principals alternatives per aconseguir les dades amb l'objectiu de caracteritzar els cicles.

Les dues eines que es proven són una aplicació mòbil i l'OBD. Introduïdes prèviament a l'apartat 3.

Com s'ha explicat, l'aplicació mòbil permet recollir les acceleracions, les coordenades geogràfiques, la velocitat instantània i la distància recorreguda, totes elles juntament amb un rellotge amb precisió de ms. Pel que fa a l'OBD, aquest permet recollir les mateixes dades que l'aplicació mòbil i a més a més, dades d'emissions de contaminants.

Un aspecte diferencial entre aquestes dues eines és que l'aplicació mòbil capta unes 10 mostres d'acceleració per cada registre de localització i velocitat, que es produeix aproximadament cada segon i mig. Aquesta variabilitat en l'obtenció de mostres obligarà a un posterior tractament de les dades obtingudes. Mentre que, l'OBD recull una mostra d'acceleració per cada registre de localització i velocitat, que es produeix cada segon.

Aquest fet suposa que, en aquest sentit no s'hagi de realitzar cap tractament posterior de les dades. També permet recol·lectar dades d'emissions que es compararan amb les emissions obtingudes en les simulacions realitzades amb l'Advisor.

També, cal tenir en compte que amb l'aplicació mòbil és necessari començar la presa de dades una mica abans d'iniciar la ruta que interessa, ja que en un inici no pren les dades correctament. Aquest fet no es produeix amb l'OBD.

Per acabar, l'últim aspecte que es té en compte és que la velocitat instantània obtinguda mitjançant l'aplicació mòbil és a partir del GPS i en canvi, amb l'OBD és donada pel propi aparell.

Es realitza una primera prova amb les dues eines i s'observen dos aspectes determinants. Primerament, al representar les rutes en el QGIS les dades provinents de l'aplicació mòbil tenen molts més punts anòmals que amb l'OBD. En segon lloc, com s'ha comentat anteriorment, a l'hora de prendre dades es realitzen diversos itineraris que es van repetint consecutivament i és ideal tenir-los separats, és a dir, utilitzar una eina que cada vegada que es completi un itinerari es pugui parar i tornar-la a engegar al següent segon per tal de dur a terme el itinerari. Amb l'aplicació mòbil no és possible fer aquesta tasca perquè al principi no pren les dades correctament fins que s'estabilitza. Per totes aquestes raons, l'eina utilitzada és l'OBD.

Per tant, les dades que s'obtidran gràcies a l'OBD seran les coordenades geogràfiques, la velocitat instantània, la distància recorreguda, les acceleracions i algunes emissions de contaminants per cada instant de temps. Les acceleracions no s'utilitzaran de manera directa però sí que serà interessant conèixer-les per fer verificacions posteriorment.

Pel que fa a les dades del pendent, necessàries per dur a terme les simulacions, es calcularan més endavant a partir de les dades d'alçada i distància recorreguda. Les dades d'alçada s'obtidran amb el QGIS.

El treball de camp es realitza amb un Audi A3, de motor Dièsel, en dies laborables i lectius del mes de Maig.

## 5. Resultats de l'experimentació

En aquest apartat es presenten els resultats extrets del procés d'experimentació, després d'analitzar i tractar totes les dades recollides. En els següents punts es poden veure els passos seguits.

### 5.1. Comptatge de vehicles

#### 5.1.1. Resultats

El comptatge de vehicles de les cruïlles es realitza a partir de les gravacions realitzades in-situ. Els resultats extrets es troben a les taules 5.1 i 5.2, on la primera representa el comptatge de vehicles en hora punta i la segona en hora vall.

|                                  | Vehicles que s'aturen | Vehicles que no s'aturen |
|----------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| <b>Aragó</b>                     | 11                    | 75                       |
| <b>Comte Urgell amb Aragó</b>    | 9                     | 24                       |
| <b>València</b>                  | 6                     | 18                       |
| <b>Comte Urgell amb València</b> | 26                    | 10                       |
| <b>Av. Roma</b>                  | 2                     | 16                       |
| <b>Comte Urgell amb Av. Roma</b> | 3                     | 25                       |

Taula 5.1: Comptatge de vehicles en un cicle de semàfor en hora punta. Font: Elaboració pròpia

|                                  | Vehicles que s'aturen | Vehicles que no s'aturen |
|----------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| <b>Aragó</b>                     | 8                     | 62                       |
| <b>Comte Urgell amb Aragó</b>    | 5                     | 18                       |
| <b>València</b>                  | 3                     | 13                       |
| <b>Comte Urgell amb València</b> | 13                    | 20                       |
| <b>Av. Roma</b>                  | 2                     | 13                       |
| <b>Comte Urgell amb Av. Roma</b> | 1                     | 19                       |

Taula 5.2: Comptatge de vehicles en un cicle de semàfor en hora vall. Font: Elaboració pròpia

A la taula anterior es mostra, per a cada semàfor, la mitjana aritmètica dels vehicles que s'hi aturen i els que no, durant tot un cicle semafòric. A partir d'aquestes dades es calcula el IMH utilitzant la següent fórmula:

$$IMH = \bar{V} \frac{60}{t_c}$$

On,

$\bar{V}$  és la mitjana aritmètica de vehicles i  $t_c$  el temps de cicle de cada semàfor

Per tant, a la taula 5.3 i 5.4 es pot veure el IMH de cada semàfor en hora punta i hora vall respectivament.

|                                  | Vehicles que<br>s'aturen | Vehicles que no<br>s'aturen | IMH TOTAL |
|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------|
| <b>Aragó</b>                     | 1131                     | 4500                        | 5631      |
| <b>Comte Urgell amb Aragó</b>    | 540                      | 2469                        | 3009      |
| <b>València</b>                  | 360                      | 1851                        | 2211      |
| <b>Comte Urgell amb València</b> | 2674                     | 600                         | 3274      |
| <b>Av. Roma</b>                  | 206                      | 960                         | 1166      |
| <b>Comte Urgell amb Av. Roma</b> | 180                      | 2571                        | 2751      |

Taula 5.3: Comptatge de vehicles expressant en vehicles/hora en hora punta. Font: Elaboració pròpia

|                                  | Vehicles que<br>s'aturen | Vehicles que no<br>s'aturen | IMH TOTAL |
|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------|
| <b>Aragó</b>                     | 823                      | 3720                        | 4543      |
| <b>Comte Urgell amb Aragó</b>    | 300                      | 1851                        | 2151      |
| <b>València</b>                  | 180                      | 1337                        | 1517      |
| <b>Comte Urgell amb València</b> | 1337                     | 1200                        | 2537      |
| <b>Av. Roma</b>                  | 206                      | 780                         | 986       |
| <b>Comte Urgell amb Av. Roma</b> | 60                       | 1954                        | 2014      |

Taula 5.4: Comptatge de vehicles expressant en vehicles/hora en hora vall. Font: Elaboració pròpia

### 5.1.2. Verificació de les dades obtingudes

Per verificar que les dades obtingudes en el comptatge manual són correctes, es compararan amb les dades que ofereix l'Ajuntament. Cal mencionar que no ha estat necessària l'aplicació de cap factor corrector ja que s'han tingut en compte tots tipus de vehicle al moment de realitzar el comptatge manual.

Anteriorment, s'ha calculat la IMH experimental i es compara amb les IMH de l'Ajuntament de Barcelona. Aquests valors s'han obtingut multiplicant els valors IMD (taula 4.1, punt 4.1) pel corresponent coeficient de distribució horària, representats en la figura 4.2 del punt 4.1. A les taules que s'observen a continuació es mostren les dues IMH i la diferència en percentatge entre les dues en hora punta i hora vall, respectivament.

|                                  | IMH Experimental | IMH Ajuntament | Diferència (%) |
|----------------------------------|------------------|----------------|----------------|
| <b>Aragó</b>                     | 5631             | 5147           | 9              |
| <b>Comte Urgell amb Aragó</b>    | 3009             | 2970           | 1              |
| <b>València</b>                  | 2211             | 2092           | 6              |
| <b>Comte Urgell amb València</b> | 3274             | 2970           | 10             |
| <b>Av. Roma</b>                  | 1166             | -              | -              |
| <b>Comte Urgell amb Av. Roma</b> | 2751             | 2970           | -7             |

*Taula 5.5: Diferència entre la IMH experimental i la de l'Ajuntament en hora punta. Font: Elaboració pròpia*

|                                  | IMH Experimental | IMH Ajuntament | Diferència (%) |
|----------------------------------|------------------|----------------|----------------|
| <b>Aragó</b>                     | 4543             | 4356           | 4              |
| <b>Comte Urgell amb Aragó</b>    | 2151             | 2334           | -8             |
| <b>València</b>                  | 1517             | 1644           | -8             |
| <b>Comte Urgell amb València</b> | 2537             | 2334           | 9              |
| <b>Av. Roma</b>                  | 986              | -              | -              |
| <b>Comte Urgell amb Av. Roma</b> | 2014             | 2334           | -14            |

*Taula 5.6: Diferència entre la IMH experimental i la de l'Ajuntament en hora vall. Font: Elaboració pròpia*

S'han donat com a vàlids tots els resultats iguals o inferiors a un 10%. S'accepta aquest error perquè les IMD donades per l'Ajuntament pertanyen a un altre tram de carrer, per exemple, la IMD de Comte Urgell és en funció dels vehicles que passen entre París i Còrsega. Aquest fet pot propiciar que els valors presentin diferència. A més a més, cal tenir en compte els errors experimentals que es produeixen.

Pel que fa a l'Avinguda Roma l'Ajuntament no proporciona dades d'aquest carrer ja que es considera que no té un flux tan elevat. Per tant no es poden verificar les dades. Tot i així, per inspecció directa de les dades, de la taula 5.3 i 5.4, s'observa que és el flux més petit en relació als altres. Això és coherent pel que s'ha explicat anteriorment i per tant es donen les dades com a vàlides.

Pel que fa al carrer Comte Urgell amb Avinguda Roma, en les hores punta el resultat té una diferència d'un 7% amb les dades de l'Ajuntament i per tant es considera vàlida, però en hores vall, la diferència és del 14%. Analitzant més profundament aquesta dada s'observa el següent, primerament el flux de vehicles de Comte Urgell amb Av. Roma (2014 vehicles) té una diferència del 7% amb el flux del tram de Comte Urgell amb Aragó (2151 vehicles). La majoria dels vehicles que circulen pel semàfor de Comte Urgell amb Aragó continuen cap amunt, passant per la cruïlla Comte Urgell València. També, es veu que el sumatori del flux

d'Av. Roma i el de Comte Urgell amb Av. Roma (3000 vehicles) és molt semblant al de Comte Urgell amb València (2537 vehicles), suposa un 15% de diferència. Aquest fet és coherent perquè tots els vehicles que circulen per la cruïlla d'Av. Roma – Comte Urgell han de passar obligatòriament pel semàfor de Comte Urgell amb València. Amb aquest motiu també es validen les dades d'Av. Roma tot i no poder comparar-les. Per tant, es determinen totes les dades com a correctes.

## 5.2. Determinació dels cicles de conducció

### 5.2.1. Verificació i tractament de les dades

A partir del treball de camp s'ha obtingut una gran quantitat d'itineraris i consegüentment de dades, per cada un dels semàfors, durant la franja horària escollida.

A la taula següent es mostren els camps recollits mitjançant l'OBD:

| Nom del camp                 | Descripció                           | Ús   |
|------------------------------|--------------------------------------|--|
| Device time                  | Rellotge                             | Temps transcorregut  |
| Longitude                    | Longitud del punt                    | Localització del punt en el mapa                           |
| Latitude                     | Latitud del punt                     | Localització del punt en el mapa                           |
| Speed (OBD)<br>(km/h)        | Velocitat del vehicle segons l'OBD   | Velocitat instantània i càlcul de la distància recorreguda |
| Acceleration sensor (x axis) | Acceleració lateral del vehicle      | No s'utilitza  |
| Acceleration sensor (y axis) | Acceleració vertical del pendent     | No s'utilitza  |
| Acceleration sensor (z axis) | Acceleració longitudinal del vehicle | No s'utilitza  |
| Trip distance (km)           | Distància recorreguda                | Distància recorreguda i càlcul del pendent                 |
| NOx (ppm)                    | Emissions NOx                        | Verificació de dades obtingudes en les simulacions         |

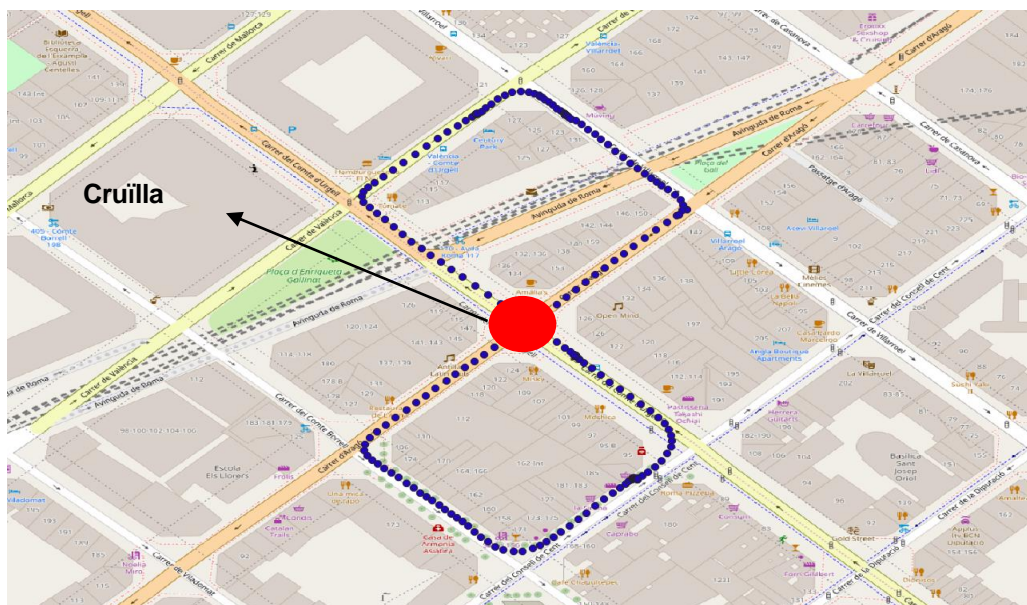
*Taula 5.7: Camps obtinguts amb l'OBD*

Un cop es tenen les dades, es procedeix a la verificació i tractament d'aquestes.

Com s'ha explicat en el punt anterior, s'ha de fer un tractament específic de les dades. L'estratègia seguida ha estat de, a cada problema, aplicar-li la corresponent solució i, posteriorment, fer la verificació pertinent. A continuació es detallen els diferents passos en que ha consistit el tractament de dades, juntament amb els punts de verificació que s'han establert. Algunes de les rectificacions no han estat necessàries per tots els cicles i en alguns casos, ha estat necessari dissenyar un tractament personalitzat.



En primer lloc, és essencial veure que tots els traçats són correctes i que no hi ha punts anòmals. Per realitzar aquesta tasca s'utilitza el programa QGIS. Aquest permet dibuixar les dades recollides sobre un mapa dels carrers de Barcelona, on es pot veure si hi ha algun punt fora del traçat. A l'hora de recollir les dades de manera experimental es feia un itinerari complet on es passava per la cruïlla que s'estava estudiant, tal com s'ha comentat anteriorment. En la figura 5.1 es mostra aquest procediment per un itinerari en concret.



*Figura 5.1: Selecció del traçat*

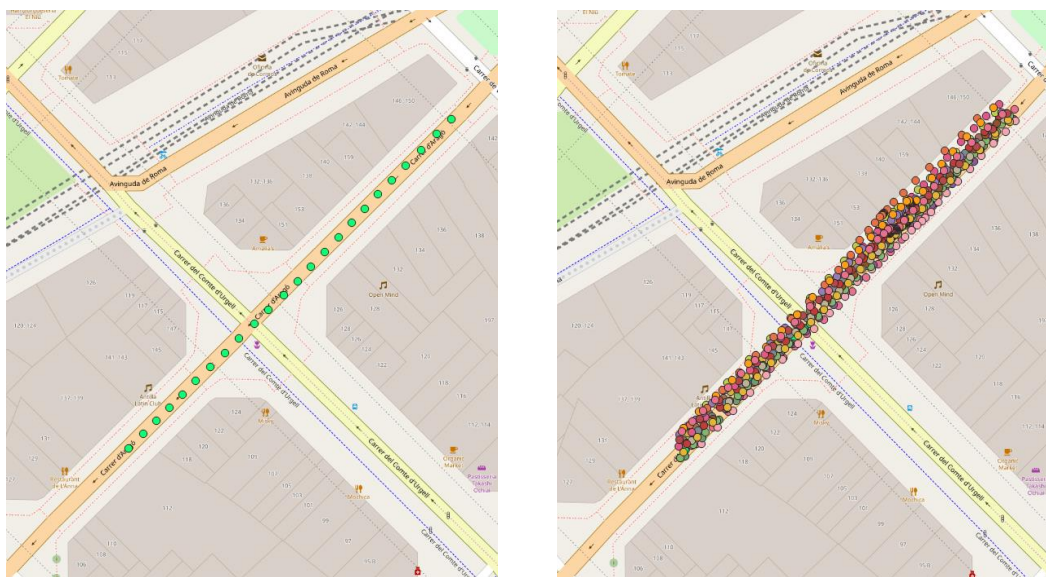
Cada un dels itineraris s'ha repetit una certa quantitat de vegades (taula 4.2) per tal d'obtenir un cert nombre de dades. Tots els cicles, és a dir, un total de 40 cicles s'han dibuixat al QGIS per tal de veure si hi ha algun punt anòmal. El que s'ha vist és que no n'hi ha cap. Cal tenir en compte, que s'ha intentat començar i acabar quan s'estava parat.

Un cop analitzats tots els traçats es vol trobar l'alçada de cada punt per tal de posteriorment, obtenir el pendent. És cert que el propi OBD et dona aquestes dades però al analitzar la variable alçada, donada per l'OBD, dels diferents punts del carrer Comte Urgell, aquesta variava molt poc donant un pendent casi nul, fet que no és possible. Per això s'ha decidit utilitzar el programa QGIS per trobar aquest camp. Aquesta acció es fa a partir de les capes Ràster que facilita l'Institut Geogràfic Nacional, que proporcionen Models Digitals del Terreny (DMT) amb precisió de fins a 5 metres. Les dades d'aquesta capa s'agreguen a les del cicle i s'obté el valor de l'alçada per a cada punt.

Després d'obtenir l'altitud de cada punt i juntament amb la distància recorreguda es podrà trobar el pendent, necessari per realitzar les simulacions. Abans però, s'han de tractar les dades per solucionar diferents problemes.

Pel que fa a la distància recorreguda, el propi OBD dona aquesta dada però s'ha vist que quan la velocitat es manté constant, la distància no augmenta fins a canviar de velocitat. Per aquest motiu s'ha cregut que aquesta dada no era massa exacta, per tant es descarta utilitzar aquest camp. Per tal d'obtenir la distància recorreguda en cada instant, s'integra de la velocitat donada per l'OBD. Aquest procediment es fa mitjançant Matlab, tal com es pot veure a l'annex figura 0.5.

Per tal d'explicar el procés seguit, ens centrarem en una de les cruïlles d'estudi, en aquest cas la cruïlla Aragó – Comte Urgell. Primerament, és necessari dividir cada un dels itineraris realitzats al voltant d'aquesta cruïlla en el tram d'Aragó i en el tram del carrer Comte Urgell amb totes les seves dades corresponents com ara velocitat instantània, distància recorreguda, longitud i latitud, entre d'altres. A cada un d'aquests trams se li dirà cicle. A partir d'un itinerari com el de la Figura 5.1, s'obté el tram d'Aragó i Comte Urgell com el que es veu a la figura 5.2 i 5.3, imatge de l'esquerra. Al fer aquest procediment per tots els cicles de la cruïlla, s'obtenen les imatges de la dreta de la figura 5.2 i 5.3 pel carrer Aragó i pel carrer Comte Urgell, respectivament. A continuació s'explicarà el procediment seguit per aconseguir retallar tots els itineraris en cicles.



*Figura 5.2: Cicles carrer Aragó*





*Figura 5.3: Cicles carrer Comte Urgell*

Per tal de saber on retallar, s'ha de tenir molt clar que el que interessa d'aquest projecte és la cruïlla, és a dir, les parades i engegades que es realitzen en aquestes i la diferència amb el fet que no es pari al semàfor. Per aquest motiu, interessa un petit tram de carrer. A més a més, és essencial que tots els trams comencin i acabin en un punt molt semblant per tal que les condicions siguin les mateixes i també, la distància recorreguda. El punt d'inici d'estudi és quan la velocitat ja no es veu influïda pel gir, és a dir, per exemple al carrer Aragó venint per Villarroel hi ha un semàfor de vianants just al girar, per tal de no tenir en compte aquesta reducció i augment de velocitat que es produeix en un pas de vianants, es comencen a estudiar les dades després del pas de vianants quan ja s'ha realitzat l'acceleració. Per tal de decidir on acabar el tram d'estudi, s'ha vist que quan es surt d'un semàfor es produeix una acceleració fins a una velocitat que després es mantindrà constant, doncs just en aquest punt es quan es retalla. S'ha observat que quan la velocitat és molt elevada però no es dona temps a que s'estabilitzi es produeixen canvis molts bruscos en l'alçada i la distància, fent que el pendent difereixi molt de la resta.

Després de decidir on es retalla cada itinerari per aconseguir els diferents cicles d'Aragó i Comte Urgell, s'ha de buscar una metodologia per tractar el gran volum de dades. En total es tenen 40 itineraris que contenen aproximadament un total 12000 dades. Dins de cada un d'aquests 40 itineraris hi ha més d'un subconjunt de dades que interessin, és a dir, en cada itinerari hi ha com a mínim una cruïlla d'estudi, per tant, dos cicles diferents que es volen estudiar. Per exemple, en el cas de l'itinerari 1 de la cruïlla Aragó-Comte Urgell interessa les dades que inclouen el semàfor d'Aragó i per tant, formaran el cicle d'Aragó i les que formaran el cicle de Comte Urgell. A la taula següent, es pot veure els semàfors d'estudi que hi ha en cada una de les repeticions d'un itinerari. A partir d'aquí sortiran els cicles totals d'estudi.

|   |             | Número de repeticions | Semàfors d'estudi | Nº de cicles |
|---|-------------|-----------------------|-------------------|--------------|
| <b>Aragó –<br/>Comte Urgell</b>                 | Itinerari 1 | 15                    | 2                 | 30           |
|   | Itinerari 2 | 6                     | 2                 | 12           |
|   | Itinerari 3 | 6                     | 2                 | 12           |
| <b>València-<br/>Comte Urgell-<br/>Av. Roma</b> | Itinerari 4 | 9                     | 4                 | 36           |
|   | Itinerari 5 | 5                     | 3                 | 15           |
|   | Itinerari 6 | 4                     | 3                 | 12           |

Taula 5.8: Número de cicles que s'extrauran per cada un dels itineraris

A partir de la taula 5.8, es determina que el número de cicles a analitzar són 117. Un cop es té clar el número de subconjunts de dades que interessen de cada un dels itineraris es procedeix a retallar. S'explica tot el procediment amb un exemple per fer-ho més entenedor.

Pas 1: S'agafen totes les repeticions d'un mateix tipus d'itinerari, per exemple, les 15 repeticions de l'itinerari 1. S'escull una de les repeticions i es va tallant manualment fins a trobar el conjunt de dades que interessa, en aquest cas el carrer Aragó (figura 5.4).

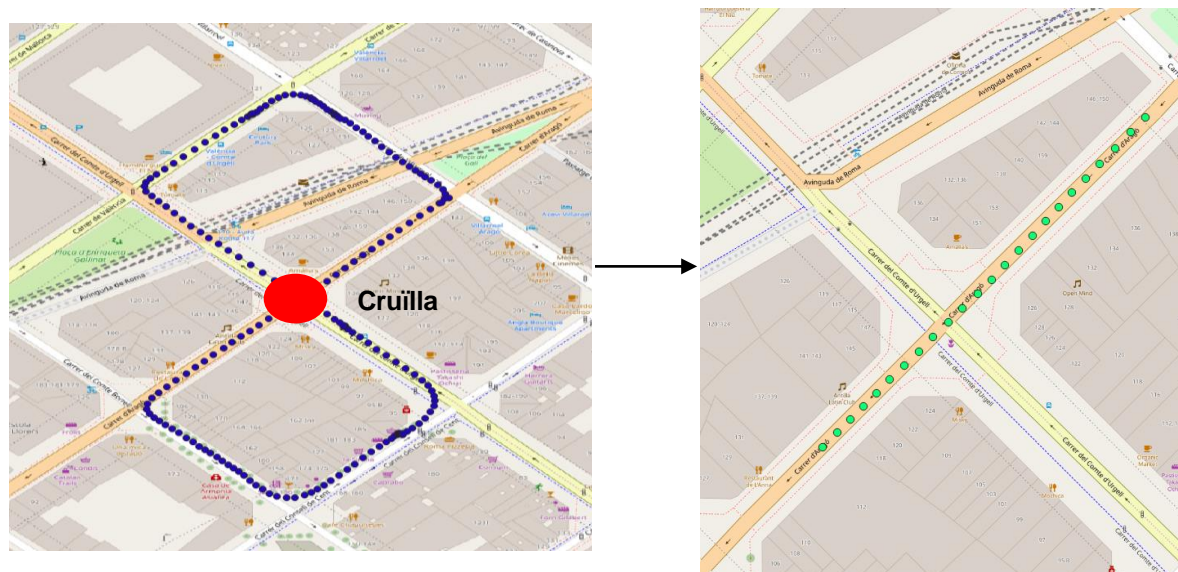


Figura 5.4: Pas 1. Font: Open Street Maps, elaboració pròpia

Pas 2: Es separa el subconjunt de dades per formar el primer cicle. Per tal de retallar la resta de repeticions de l'itinerari d'una manera més ràpida i intentant que el punt d'inici i final sigui el mateix i la distància recorreguda també, es delimita el cicle amb les coordenades del punt d'inici i les del punt final.



*Figura 5.5: Problema del retall. Font: Open Street Maps, elaboració pròpia*

Pas 3: Es filtra cada una de les repeticions amb aquests valors per tal d'obtenir tots els cicles. És molt important filtrar cada una de les repeticions amb la coordenada de latitud i longitud perquè si només es filtra amb una sola coordenada hi haurà altres subconjunts de dades que ho compliran, com ara un carrer paral·lel.

Després de retallar la primera repetició, apareix el primer problema. Al filtrar per latitud i longitud apareixen dos subconjunt de dades, les del carrer Aragó i les del Carrer Comte Urgell ja que dins d'un mateix rang de longitud i latitud mínima i màxima hi ha els carrers de Comte Urgell i Aragó (figura 5.5).

Pas 4: Es separen els dos subconjunt de dades, es representen al QGIS i es mira quin és el que es necessita.

Pas 5: Un cop realitzat aquest procediment per totes les repeticions d'un mateix itinerari, es comprova que el punt d'inici i final dels cicles i la distància recorreguda siguin semblants. Aquest procediment es realitza mitjançant el QGIS i també l'excel per tal d'obtenir la distància recorreguda en cada cicle. En cas que algun cicle tingui una distància molt diferent a la resta o bé que no comenci o acabi en un lloc semblant, s'afegeixen o s'eliminen els punts que es creuen necessaris. Es torna a representar al QGIS i analitzar la distància i si és correcte es dona com a vàlid, sinó es repeteix aquest últim pas.

Es torna a repetir el mateix procediment pel mateix tipus d'itinerari tantes vegades com semàfors d'interès hi hagi, en aquest cas una vegada més per obtenir els cicles del Carrer Comte Urgell. És cert que al mateix filtrar Aragó, obtenim les dades de Comte Urgell però poden no ser vàlides. Potser el tram que es busca és més gran o més petit tenint en compte els criteris que s'han comentat anteriorment a l'hora de realitzar el retall, per tant, és important repetir el procés.

Tot seguit, es passa al següent tipus d'itinerari i es repeteix tot el procés explicat fins a obtenir els 117 cicles.

Un cop es tenen els diferents cicles retallats, s'analitzen les alçades de cada punt.



Quan es comparen les altituds del mateix carrer entre els diferents cicles es veu que a vegades difereixen les unes de les altres. El fet de que el DMT utilitzat tingui una precisió de 5 metres vol dir que el valor que s'assigna a l'alçada té un cert error que no es pot obviar. Aquest error ve donat per la pròpia naturalesa de la capa d'alçades, que consisteix en una malla formada per píxels quadrats, cada un dels quals representa una superfície real de 5x5 metres (d'aquí el valor de precisió), en la que a cada píxel se li assigna un valor d'alçada. El valor assignat correspon a l'alçada mitjana de la superfície representada. Així doncs, dos punts molt propers entre ells però separats per una frontera de píxel poden tenir alçades significativament diferents. Aquest fet és especialment problemàtic quan el vehicle viatja a velocitats baixes o fins i tot si està quiet, ja que les mostres estaran molt juntes entre si. A més a més, al estudiar un tram de carrer molt petit, on hi ha parades a causa dels semàfors, les dades no s'estabilitzen i per tant es fa més complicada l'estudi d'aquestes. Per tant, abans de fer el càlcul del pendent es tracten les dades de l'alçada pels dos carrers.

Agafant com exemple el cicles del carrer Aragó, per inspecció directa de les dades de l'alçada es veu com hi ha cicles on les dades difereixen molt les unes de les altres. Això és degut en que hi ha cicles on els punts es situen més a la banda del carrer enlloc del centre i per tant, es troben dins d'un altre píxel, tal com s'aprecia a la figura 5.6.

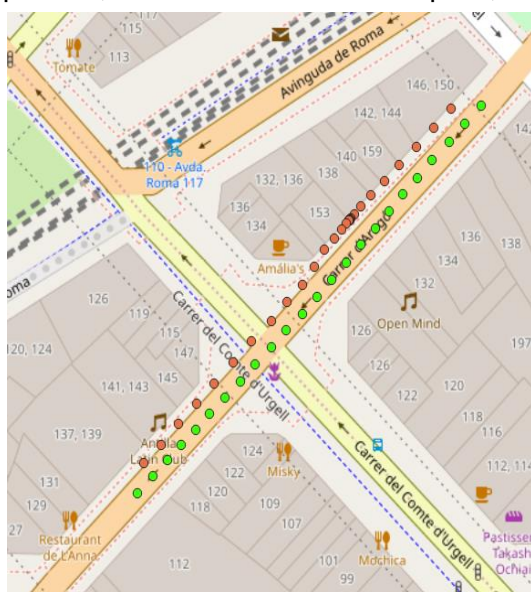


Figura 5.6: Trams Aragó

Com es pot apreciar a la figura 5.6 el tram de color verd és troba molt més centrat que el tram pintat de color rosa. Per veure-ho d'una manera diferent a la figura 5.7 la qual es pot veure a sota, representa la relació alçada – distància recorreguda pels dos cicles representats a la figura 5.6. La línia de color verd representa el cicle de color verd de la figura 5.6 i el mateix passa amb el rosa. Com es pot observar, el cicle rosa té uns canvis molts bruscos d'altitud que no són coherents pel carrer Aragó.

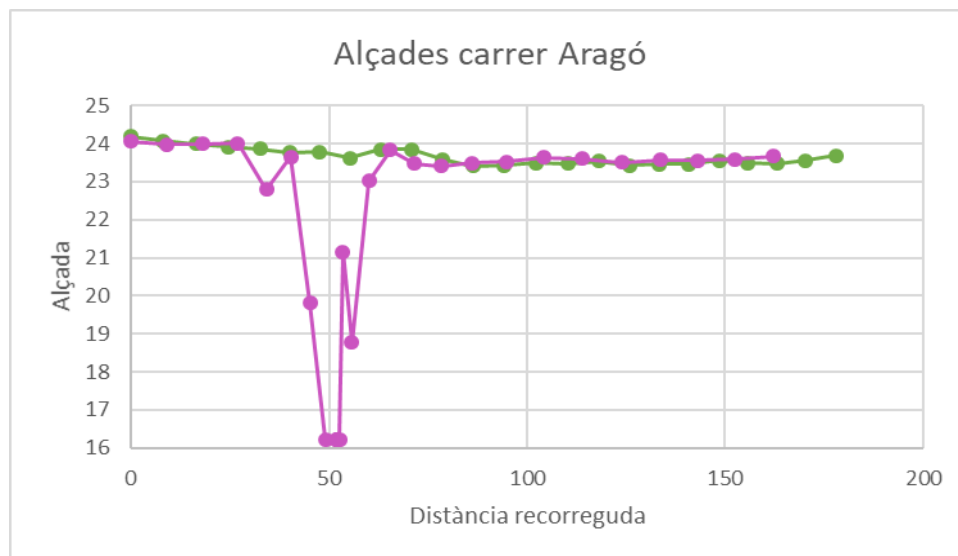


Figura 5.7: Relació alçada - distància recorreguda carrer Aragó per dos cicles diferents

Aquests valors anòmals que venen causats pel que s'ha explicat anteriorment, s'ajusten manualment tenint en compte tots els altres cicles. El resultat d'aquests canvis són unes corbes d'altitud d'Aragó en funció de la distància que tenen una mateixa tendència decreixent, tal com es mostra a la figura 5.8. Cal matissar que un dels cicles d'Aragó no s'ha utilitzat ja que la diferència és massa gran amb tots els altres cicles per arreglar-la. També succeeix amb el carrer València, on s'eliminen quatre cicles.

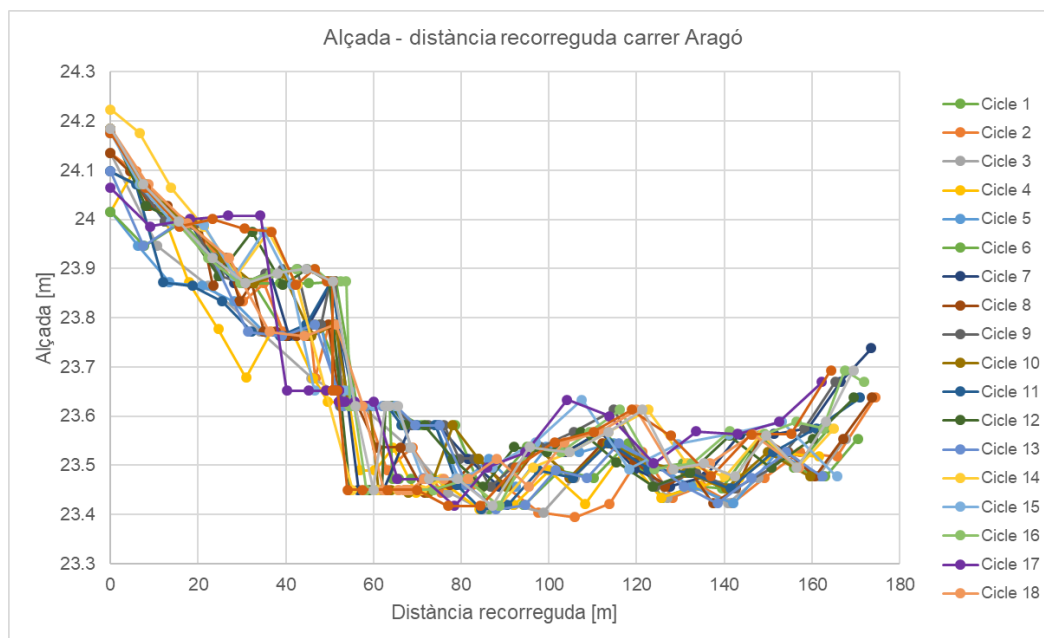


Figura 5.8: Relació alçada - distància recorreguda carrer Aragó

En aquest cas es veu com la diferència d'altituds entre el punt màxim i mínim és petita.

A continuació, es representa el carrer Comte Urgell amb Aragó. Les altituds de tots els cicles són molt semblants entre sí i per tant es consideren vàlides. En aquest carrer a diferència d'Aragó es veu una tendència clarament creixent i el valor mínim i màxim tenen una diferència més important. A la figura 5.9 es representa l'alçada en funció de la distància recorreguda.

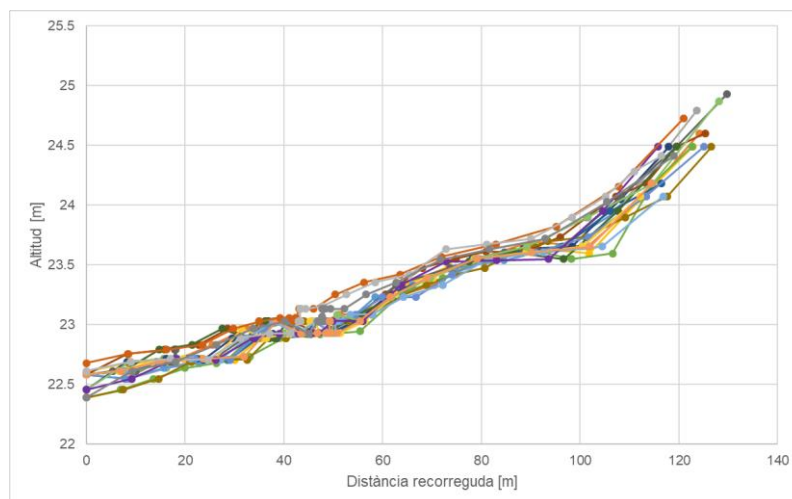


Figura 5.9: Relació alçada - distància recorreguda carrer Comte Urgell amb Aragó

També es representen els altres cicles d'Urgell, és a dir, els que creuen amb Av. Roma i València (figura 5.10 i 5.11), per tal de veure com l'altitud en les tres figures va augmentant.

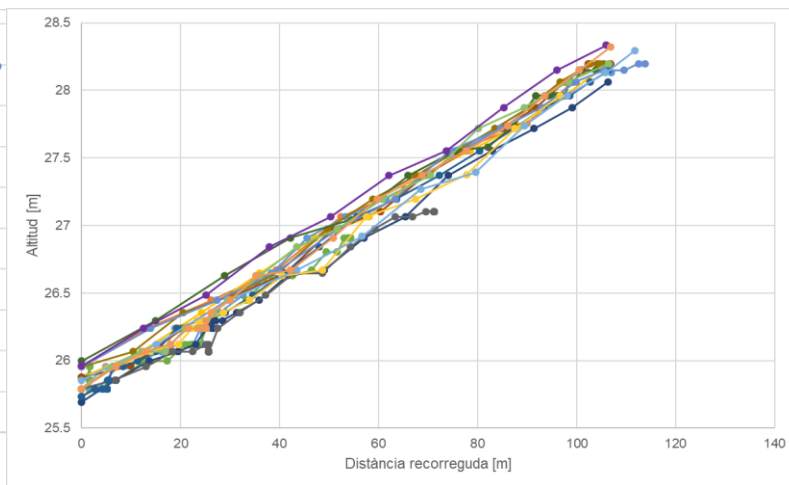
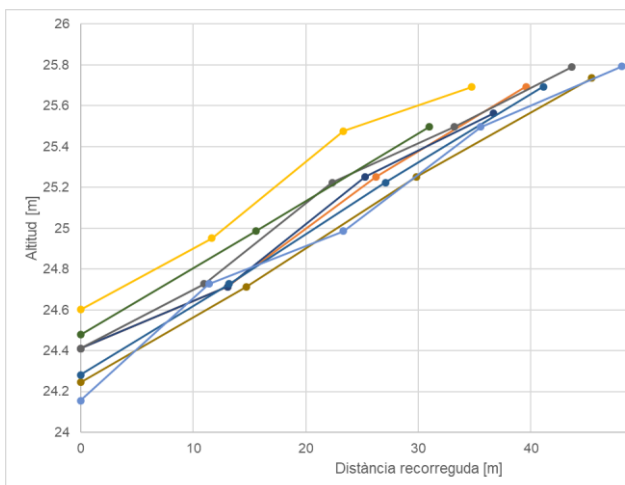
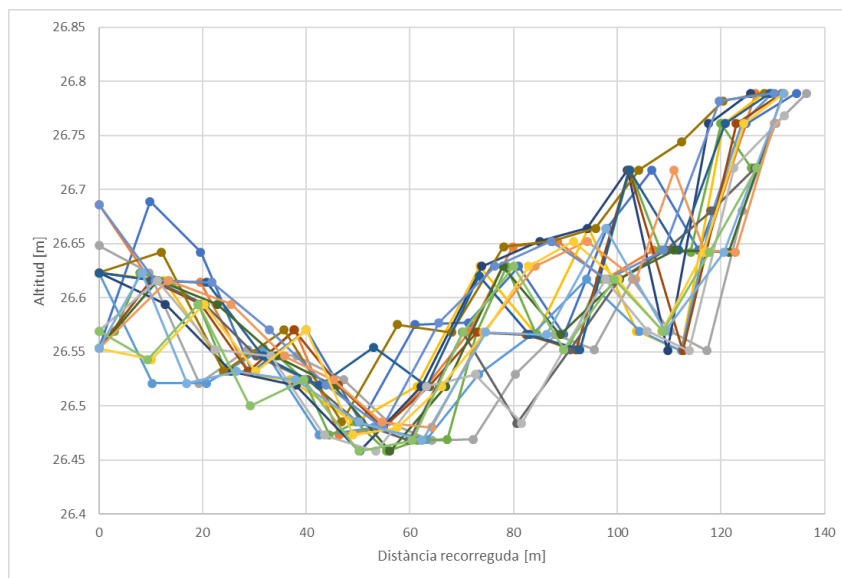


Figura 5.10: Relació alçada - distància recorreguda carrer Comte Urgell amb Avinguda Roma

Figura 5.11: Relació alçada - distància recorreguda carrer Comte Urgell amb València

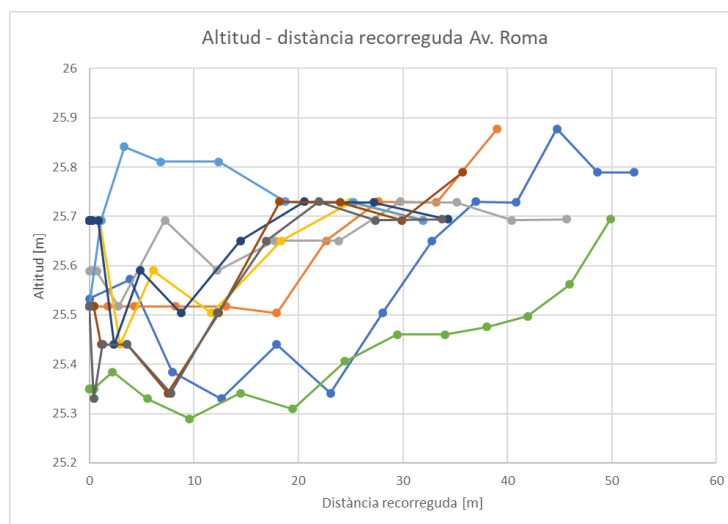
S'observa com les altituds de Comte Urgell amb Aragó van des de 22,5 a 25m, en el cicles de Comte Urgell amb Av. Roma des de 24,2 a 25,8m i en els cicles amb València (figura 5.11) des de 25,8 a 28,5m aproximadament.



Pel que fa al carrer València, a la figura 5.12 s'observa com la diferència d'alçades entre el valor mínim (aprox. 26,45m) i el valor màxim (26,8m) és molt petita. A simple vista el carrer València sembla pla per tant, té sentit que les altituds variïn molt poc entre sí.

*Figura 5.12: Relació alçada - distància recorreguda carrer València*

Finalment, a la figura 5.13 es representa l'altitud en funció de la distància recorreguda pel carrer Av. Roma. Tal com es pot veure a la figura 5.13 el comportament de les altituds a simple vista són molt diferents entre sí. Si s'observa detingudament el valor de l'altitud es veu que la diferència entre el punt més baix i el més alt en una mateixa distància mai és superior al 2%. Aquesta diferència entre les corbes és a causa del gir, és a dir, en aquest cicle s'analitza el semàfor d'Av. Roma amb Comte Urgell i per tant hi ha el gir per incorporar-se a Comte Urgell. Al realitzar aquest canvi bruscat de pendent entre dos carrers provoca que els valors d'altitud difereixin entre sí. Tot i així, com la diferència és d'un 2% com a màxim es validen les dades per tal d'analitzar més endavant el pendent.



*Figura 5.13: Relació alçada - distància recorreguda a l'Avinguda Roma*

Un cop es té l'alçada i la distància recorreguda de cada punt ja es pot procedir a calcular el pendent. Després d'estudiar les diferents alternatives, la solució que finalment s'ha aplicat consisteix, en primer lloc, en calcular el pendent segons la fórmula descrita en l'Equació 1.

$$pendent_i = \frac{h_{i+n} - h_i}{d_{i+n} - d_i}$$

Equació 1: Càlcul del pendent

On,

$h$  = alçada

$d$  = distància recorreguda

$n = 1,2,3,4$  = factor corrector

La fórmula utilitzada serveix per corregir la gran majoria de valors anòmals. Tot i així, és necessari aplicar alguna correcció més. Per tal d'arreglar encara més els valors, s'utilitza el filtre Savitzky–Golay definit a la llibreria SciPy de Python. Aquest filtre suavitza els pics puntuals que apareixien però sense modificar el pendent global de la via, és a dir, la mitjana de la funció filtrada.

Tot i haver aplicat aquestes dues correccions, segueixen havent-hi certs valors anòmals. Aquests es produeixen quan la velocitat és 0 a causa de la inexactitud de l'OBD ja que tot hi està aturats varia la distància recorreguda. Això és problemàtic en el càlcul del pendent, per els motius assenyalats anteriorment. En els pocs casos en que s'ha donat aquesta circumstància, s'ha optat per manipular el valor del pendent i situar-lo a 0. En el següent gràfic es pot veure la diferència entre els tres mètodes utilitzats pel carrer Aragó.

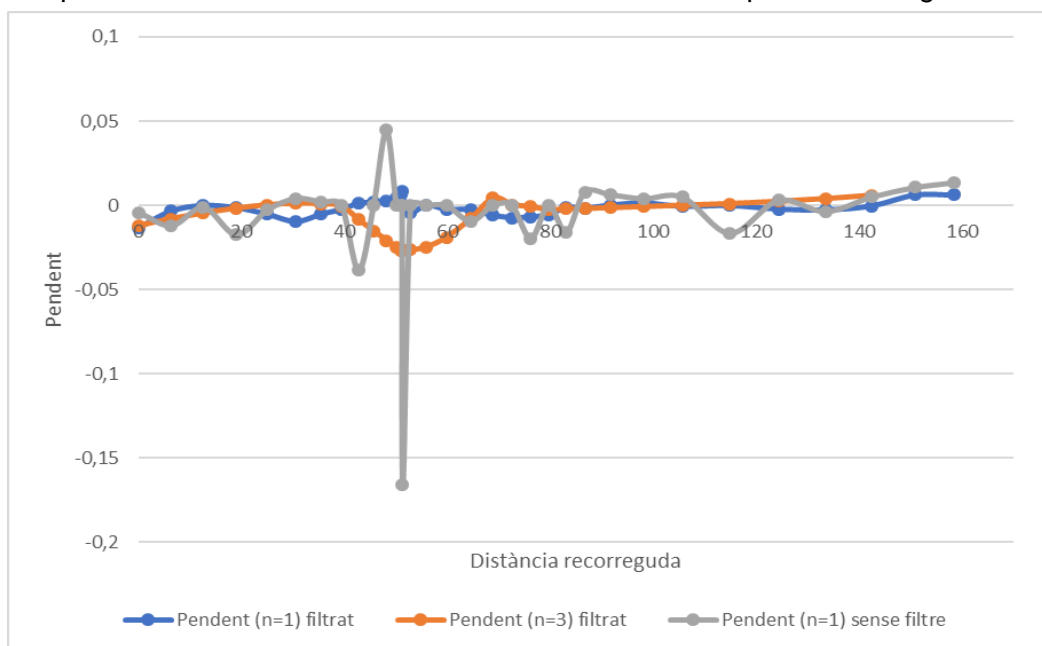
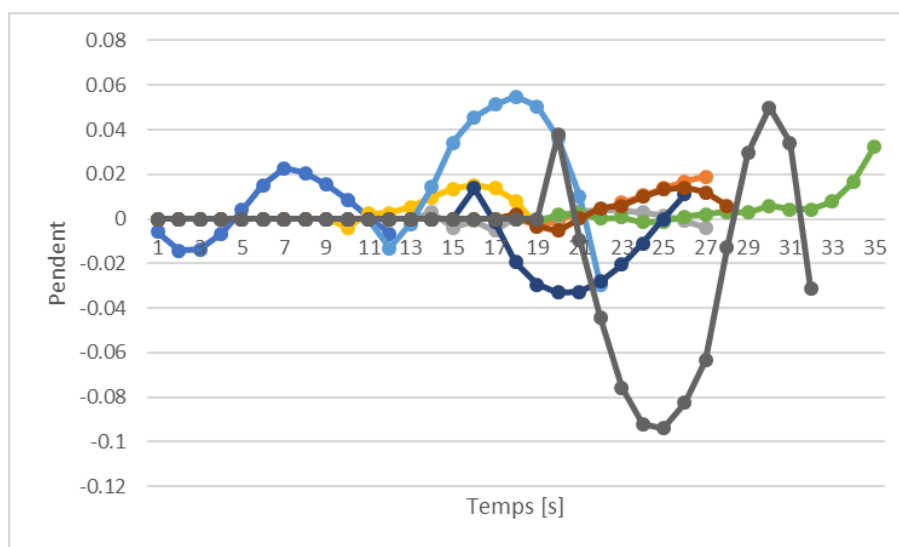


Figura 5.14: Pendents obtinguts aplicant diferents models de càlcul



Com es pot observar en la figura anterior, quan no s'aplica el filtre hi ha pics molt importants (corba grisa). En aquest cas, al augmentar el factor corrector de 1 a 3 provoca que el pendent no sigui tan coherent, per aquest motiu s'ha conclòs que la forma de càlcul de pendent i amb menys errors possibles és per  $n=1$ . El mateix succeeix en la resta de casos.

Per acabar, es representa el pendent per tots els cicles d'Avinguda Roma, ja que anteriorment s'ha vist que són els cicles amb una relació d'altitud-distància més inestable. En la figura 5.15, s'observen tots els pendents dels cicles d'Av. Roma, com el pendent màxim resultant d'un dels cicles (en negre) se situa en un 10%, es considera acceptable.



*Figura 5.15: Pendent dels cicles d'Av. Roma*

Un cop tractades les dades, el darrer pas correspon a la introducció de cada un dels 117 cicles al programa Advisor. S'ha de crear les variables `cyc_mph`, corresponents a la velocitat instantània a cada segon (milles/hora) i `cyc_grade`, que estableix el pendent a cada tram. Aquests trams es poden definir de moltes maneres, en aquest cas s'estableixen els trams obtinguts en cada diferencial de temps, de manera que s'aconsegueix definir el pendent al llarg de tot el recorregut de forma molt exacta.

### 5.2.2. Cicles obtinguts

Tot seguit, es mostren els cicles que s'han caracteritzat agrupats per cruïlles i posteriorment per semàfors.

#### Cruïlla C/Aragó – C/Comte Urgell

En aquesta cruïlla es caracteritzen cada un dels dos carrers per separat. Tal com es pot observar a la taula 5.9, on es mostren els indicadors principals dels cicles obtinguts, el pendent entre ambdós carrer és molt diferent. També, es pot apreciar com el carrer Aragó és més ràpid que el carrer Urgell.

|  | <b>Aragó</b> | <b>Comte Urgell</b> |
|--|--------------|---------------------|
| <b>Distància mitja recorreguda per cicle [M]</b> | 166,37       | 119,91              |
| <b>Pendent mitjà</b>                             | -0,2%        | 1,15%               |
| <b>Velocitat mitjana [km/h]</b>                  | 19,79        | 10,86               |
| <b>Temps semàfor obert [s]</b>                   | 60           | 35                  |
| <b>Temps semàfor tancat [s]</b>                  | 35           | 60                  |

*Taula 5.9: Resum dels cicles obtinguts a la cruïlla Aragó - Comte Urgell*

La cruïlla que s'ha estudiat es situa just en el punt on Aragó es divideix amb Av. Roma i perd una gran quantitat de carrils, tot i així, la velocitat mitjana d'aquest via és més elevada que la de Comte Urgell degut a que es prioritza la seva coordinació semafòrica. Un dels motius pot ser que Aragó té un flux de vehicles més elevat que el Carrer Comte Urgell.

#### Cruïlla C/València – C/Comte Urgell

Les principals característiques de cada un dels carrers es troben a la taula 5.10. Es pot tornar a observar com el pendent entre els dos carrers és molt diferent però en canvi, la velocitat mitjana entre els dos carrers és molt semblant.

|  | <b>València</b> | <b>Comte Urgell</b> |
|--|-----------------|---------------------|
| <b>Distància mitja recorreguda per cicle [M]</b> | 83,83           | 106,09              |
| <b>Pendent mitjà</b>                             | 0,1%            | 1,8%                |
| <b>Velocitat mitjana [km/h]</b>                  | 21,20           | 19,25               |
| <b>Temps semàfor obert [s]</b>                   | 35              | 60                  |
| <b>Temps semàfor tancat [s]</b>                  | 60              | 35                  |

*Taula 5.10: Resum dels cicles obtinguts a la cruïlla València - Comte Urgell*

En aquesta cruïlla, el carrer Comte Urgell té un pes més significatiu degut a que hi van a parar totes els cotxes procedent d'Avinguda Roma, a més a més, dels que ja venen de Comte Urgell.

### Cruïlla Av. Roma – C/Comte Urgell

A la taula 5.11, es mostren els indicadors principals dels cicles obtinguts. En aquest cas els cicles de Comte Urgell són problemàtics per diversos motius. En primer lloc, els cicles tenen distàncies recorregudes variades ja que s'ha agafat el tram que quedava entre els cicles de Comte Urgell amb València i els cicles de Comte Urgell amb Aragó. Aquest fet causa que la distància no es pugui controlar, ja que depèn dels altres cicles i per tant, és poc estable. També, al ser una distància molt petita amb un canvi important d'altitud, el pendent resulta ser incoherent. Per tant, per tots aquests motius es decideix no estudiar aquest cicle com a tal. Més endavant, en l'anàlisi de resultats s'analitzarà si es poden extrapolar els valors d'emissions i combustible dels altres cicles de Comte Urgell en aquest.

|  | <b>Av. Roma</b> | <b>Comte Urgell</b> |
|--|-----------------|---------------------|
| <b>Distància mitja recorreguda per cicle [m]</b> | 49,37           | 40,1                |
| <b>Pendent mitjà</b>                             | 0,1%            | 3,26%               |
| <b>Velocitat mitjana [km/h]</b>                  | 6,39            | 46,83               |
| <b>Temps semàfor obert [s]</b>                   | 60              | 35                  |
| <b>Temps semàfor tancat [s]</b>                  | 35              | 60                  |

*Taula 5.11: Resum dels cicles obtinguts a la cruïlla Av. Roma - Comte Urgell*

## 6. Anàlisi dels Resultats

En aquest apartat es presenten els resultats obtinguts a partir del procés d'experimentació i el posterior tractament i verificació de les dades.

### 6.1. Estimació i anàlisi del consum i les emissions

A continuació es presenten les simulacions realitzades a partir dels cicles de conducció caracteritzats. Les variables a estudiar són el consum de combustible, les emissions de òxids de nitrogen (NOx) i les de partícules en suspensió (PM). S'ha descartat de l'anàlisi les emissions d'Hidrocarburs (HC) i Monòxid de Carboni (CO), ja que no suposen riscos tan elevats per a la salut i, actualment, les ciutats no monitoritzen les concentracions d'aquests gasos en l'aire. Tampoc s'inclouen en l'anàlisi les emissions de Diòxid de Carboni (CO<sub>2</sub>), ja que el simulador no dona resultats d'aquest contaminant.

En les simulacions efectuades s'utilitza totes les dades que es tenen a l'abast, és a dir, les velocitats instantànies i el pendent. Els valors obtinguts serviran per a caracteritzar la via d'acord amb les IMH calculades i en les franges horàries establertes. En tot aquest apartat només interessen els turismes ja que la simulació es realitza amb aquest tipus de vehicle. Per tal de passar les IMH prèviament calculades a les IMH de turismes, s'utilitza el cens de l'Ajuntament [11] on s'indica que el 61% dels vehicles que circulen són turismes. Pel que fa a les franges horàries, s'estudia la d'hora punta, ja que és el moment en que es produeix més emissions. En la simulació, es suposarà un turisme de mida mitjana, amb un motor Audi 2,0TD i catalitzador OxCat amb filtre de partícules dièsel.

Primerament, es farà un anàlisi de cada cruïlla per separat. Es vol veure quin és l'efecte que produeix l'arrancada i frenada quan hi ha un semàfor i també, la importància del pendent de la via en les emissions i en el consum.

Finalment, es compararan carrers de les mateixes característiques, és a dir, que tinguin un pendent semblant i també es realitzaran comparacions entre les diferents cruïlles per tal d'extreure conclusions.

#### 6.1.1. Cruïlla Aragó – Comte Urgell

En aquest punt s'analitza el consum i les emissions que es produeixen en la cruïlla Aragó – Comte Urgell.

Primerament, s'estudia cada carrer per separat i després es realitza una anàlisi de tota la cruïlla.

### 6.1.1.1. Aragó

S'efectua una simulació considerant el pendent de la via, que en aquest cas és descendent i d'un -0,2% de mitjana. Aquesta simulació es fa per tots els cicles que es tenen del carrer Aragó. Un cop es tenen els resultats, es separen entre cicles on el vehicle s'atura al semàfor i els cicles on no. En la taula 6.1 es mostra la mitjana del consum i de les emissions pels cicles que s'aturen, pels que no i també, per tot el conjunt de cicles, tant si s'aturen com si no.

|                                 | S'atura | No s'atura | Tots els cicles |
|---------------------------------|---------|------------|-----------------|
| <b>Combustible consumit [l]</b> | 0,225   | 0,161      | 0,198           |
| <b>Consum [l/100km]</b>         | 10,59   | 7,6        | 9,33            |
| <b>NOx [g/km]</b>               | 0,177   | 0,109      | 0,148           |
| <b>PM [g/km]</b>                | 0,069   | 0,056      | 0,064           |

Taula 6.1: Consums i emissions al carrer Aragó

Com es pot observar en la taula anterior la diferència de tots els indicadors entre la mitjana dels cicles que s'aturen i els que no, és considerable. En la figura 6.1 es representa el consum de combustible en funció de la distància recorreguda. Les línies de color blau representen tots aquells cicles en que el vehicle s'atura, mentre que el color marró fa referència als cicles en que el vehicle no s'ha hagut d'aturar al semàfor. Es segueix el mateix criteri a la figura 6.2 on s'observa les emissions de NOx i PM, d'esquerra a dreta, en funció de la distància recorreguda. En tots tres gràfics es pot observar clarament que tant el consum com les emissions són més elevades en tots els cicles on s'ha trobat el semàfor en fase tancada.

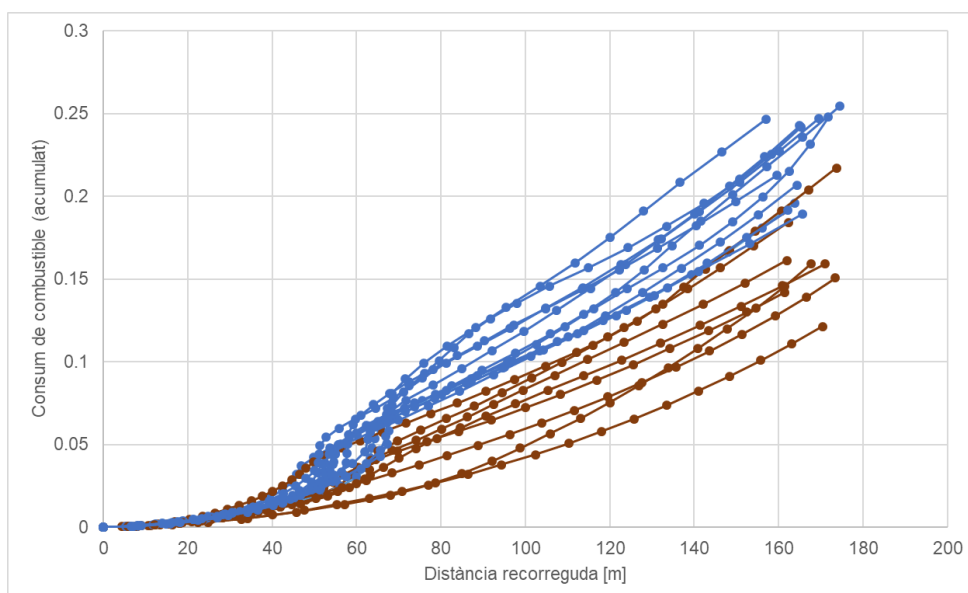


Figura 6.1: Consum de combustible en funció de la distància recorreguda

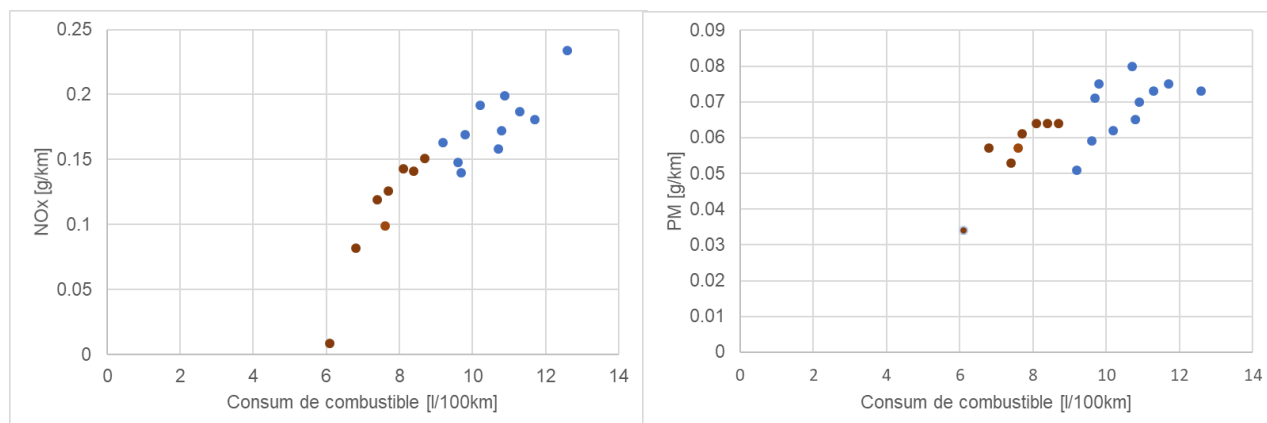


Figura 6.2: Emissions NOx i PM en funció del combustible consumit

Tot seguit es vol caracteritzar el consum i les emissions dels vehicles que circulen pel carrer Aragó en les hores punta indicades. Tenint en compte les IMH recalculades segons el criteri establert i les dades de la taula 6.1, s'estima que els vehicles que circulen pel carrer Aragó en el tram d'aquesta cruïlla generen al voltant de 85g de NOx, 36,6g de PM i 680l de combustible.

|  | S'atura | No s'atura | Tots els cicles |
|--|---------|------------|-----------------|
| <b>IMH [turismes/hora]</b>             | 690     | 2745       | 3435            |
| <b>Distància mitja recorreguda [m]</b> | 166,37  |            |                 |
| <b>Combustible consumit [l]</b>        | 155,29  | 441,95     | 680,16          |
| <b>NOx [g]</b>                         | 20,32   | 49,78      | 84,58           |
| <b>PM [g]</b>                          | 7,92    | 25,57      | 36,58           |

Taula 6.2: Consums i emissions al carrer Aragó

Si s'observa bé la taula 6.2 es pot apreciar com la suma de combustible consumit dels cicles que s'aturen i el que no s'aturen no és igual al valor de combustible consumit de tots els cicles. El mateix succeeix amb les emissions NOx i PM. Aquest fet, es produeix perquè al moment de fer les mitjanes dels indicadors per tots els cicles no s'ha tingut en compte quins es troben el semàfor en tancat i quins no, i per tant, les mitjanes són menys acurades.

Si es fa la suma dels tres indicadors, els valors que es generen són 70,1g de NOx, 33,5g de PM i es consumeix 597l de combustible. A la següent taula se pot veure resumit aquest fet:

|  | Tots els cicles | Sumatori | Diferència |
|--|-----------------|----------|------------|
| <b>IMH [turismes/hora]</b>             | 3435            | 3435     |            |
| <b>Distància mitja recorreguda [m]</b> | 166,37          |          |            |
| <b>Combustible consumit [l]</b>        | 680,16          | 597,23   | -12%       |
| <b>NOx [g]</b>                         | 84,58           | 70,10    | -17%       |
| <b>PM [g]</b>                          | 36,58           | 33,5     | -8%        |

Taula 6.3: Comparació de consums i emissions

Observant la taula, es conclou que afecta de manera positiva en els resultats tenir en compte els cicles que s'aturen i els que no. El motiu és que el flux de vehicles que s'aturen al semàfor d'Aragó, és a dir, que segueixen un cicle més contaminant, és molt més petit que el número de vehicles que no s'hi aturen. Per tant, es determina que calcular les emissions i el consum de combustible total tenint en compte els cicles que es troben el semàfor obert i els que se'l troben tancat, és important ja que els resultats canvien. Concretament, es redueix el consum de combustible un 12% i les emissions de NOx i PM es redueixen en un 17% i un 8%, respectivament.

#### 6.1.1.2. Comte Urgell amb Aragó

A continuació, es realitza el mateix procediment que en l'apartat anterior però pel carrer Comte Urgell. En aquest cas, es té un pendent ascendent d'un 1,15%. Els resultats obtinguts són els que es mostren a la taula següent:

|                                 | S'atura | No s'atura | Tots els cicles |
|---------------------------------|---------|------------|-----------------|
| <b>Combustible consumit [l]</b> | 0,214   | 0,132      | 0,186           |
| <b>Consum [l/100km]</b>         | 19,52   | 10,05      | 18,62           |
| <b>NOx [g/km]</b>               | 0,334   | 0,242      | 0,308           |
| <b>PM [g/km]</b>                | 0,101   | 0,086      | 0,1             |

Taula 6.4: Consums i emissions al carrer Urgell

En aquest cas, es segueix mantenint la mateixa tendència que en el carrer Aragó, és a dir, que els cotxes que s'aturen al semàfor causen una contaminació major i també usen més combustible.

A continuació es pot veure l'evolució del consum de combustible en funció de la distància recorreguda on el color marró representen els diferents cicles on el vehicle no s'ha hagut d'aturar i el color blau els cicles on el vehicle s'ha trobat el semàfor tancat.

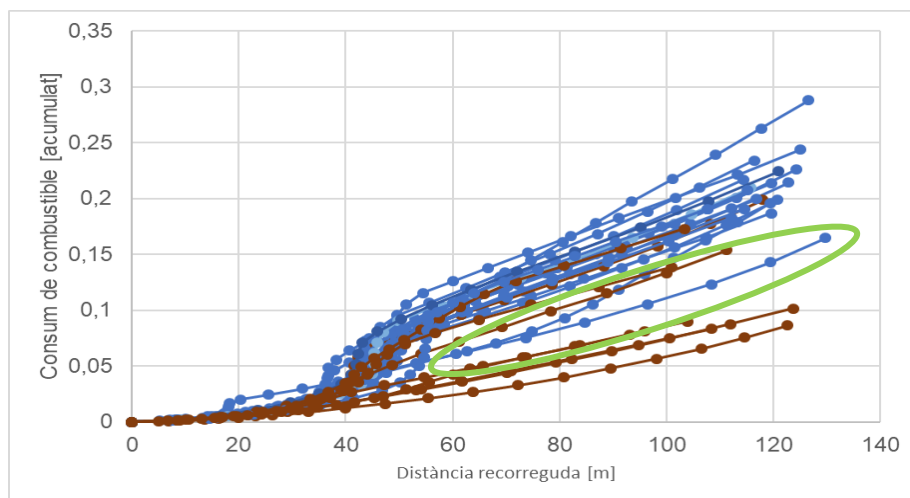
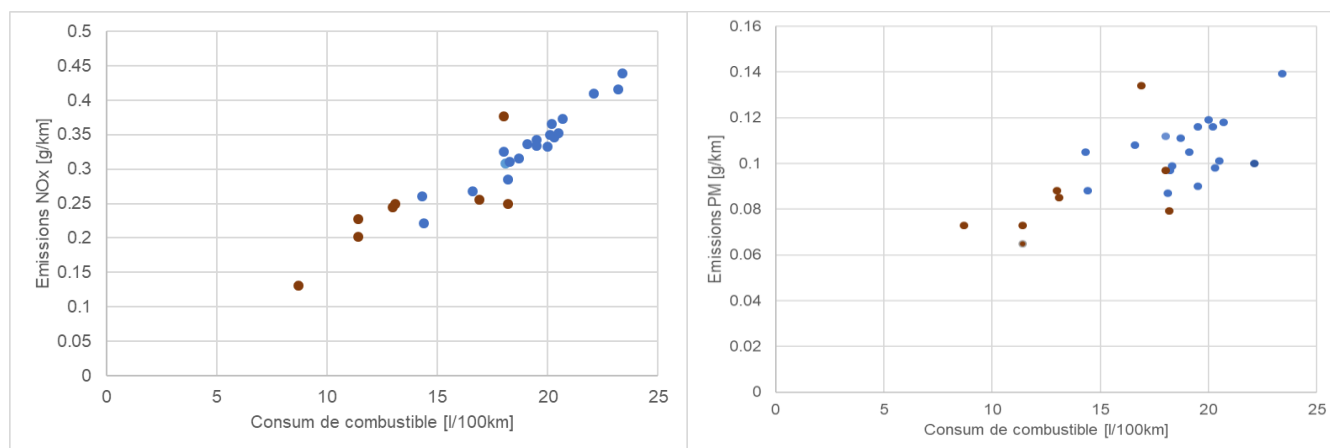


Figura 6.3: Consum de combustible en funció de la distància recorreguda

Com es pot veure a la figura 6.3, alguns dels cicles marro (el vehicle no s'atura) consumeix més combustible que altres cicles on el vehicle es troba el semàfor en vermell. Això és produït perquè tot i que en el cicles marro el vehicle no s'atura, hi ha alguna vegada que la velocitat es redueix molt fins arribar casi a 0, o bé varia molt en un mateix cicle a causa de la densitat de vehicles; per aquest motiu es gasta un valor de combustible molt semblant als cicles de color blau.

El cicle marcat amb una rodona verda, que és de color blau i per tant implica que s'atura al semàfor, s'observa que consumeix poc combustible en comparació a la resta de cicles que s'aturen, això es deu a que la frenada i l'acceleració es realitza progressivament i no bruscament i per tant, el consum de combustible és menor.

Tot seguit es mostra el gràfic d'emissions NOx i PM segons el consum de combustible. Es segueix la mateixa norma de colors que en el figura 6.3.

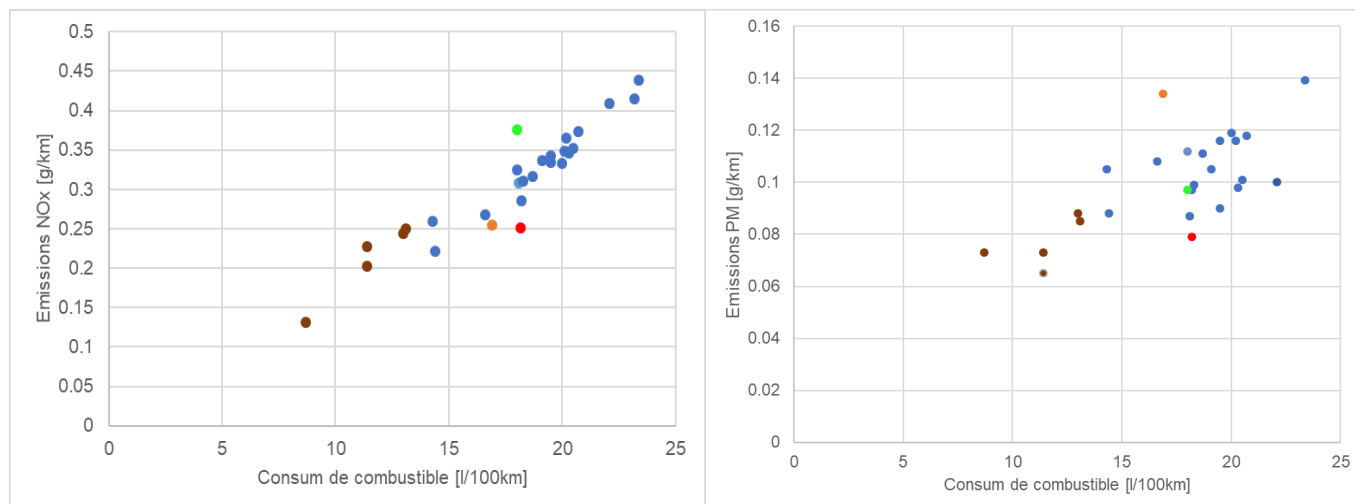


*Figura 6.4: Emissions NOx i PM en funció del combustible consumit*

En la figura 6.4 es verifica que hi ha punts de color marró amb un consum de combustible elevat, tal com s'ha comentat i s'ha explicat abans. També en destaquen les emissions generades. A continuació, es comprova si els tres cicles que tenen valors inusuals són els mateixos en ambdues figures.

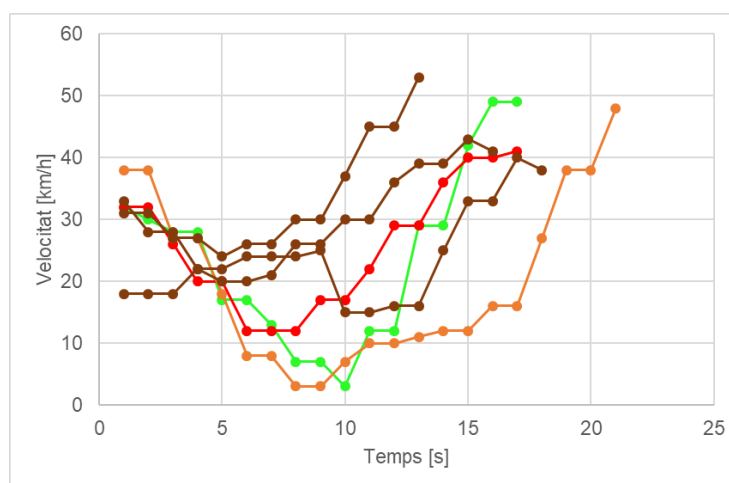
En la figura 6.5 s'han diferenciat els tres cicles inusuals d'ambdues figures. Aquests han resultat ser els mateixos; en color vermell es representa el cicle 22, en color taronja el cicle 23 i en color verd el cicle 26.





*Figura 6.5: Emissions NOx i PM en funció del combustible consumit*

Com s'ha comentat prèviament, aquests tres cicles tenen valors elevats de consum i emissions ja que tot i que el vehicle no s'atura, sí que hi ha una reducció i acceleració molt important o bé molt constant. En la figura 6.6 es representa les velocitats en funció del temps d'aquests tres cicles i també de tres altres cicles que segueixen una velocitat més constant ja que són els cicles que no s'aturen. Es segueix la mateixa línia de colors, és a dir, el cicle 22 de color vermell, el cicle 23 de color taronja i el cicle 26 de color verd, la resta s'han representat de color marró.



*Figura 6.6: Velocitat instantània en funció del temps*

Es verifica el que es sospitava, la tendència de la velocitat en els cicles 22, 23 i 26 té un canvi més pronunciat que en la resta de cicles.

Finalment, per acabar de comprovar el que s'ha dit, es representa una altra vegada el consum de combustible acumulat en funció de la distància recorreguda (figura 6.7) i s'observa que el cicle 22, 23 i 26 són els cicles que en l'anàlisi de la figura 6.3 s'han mencionat.

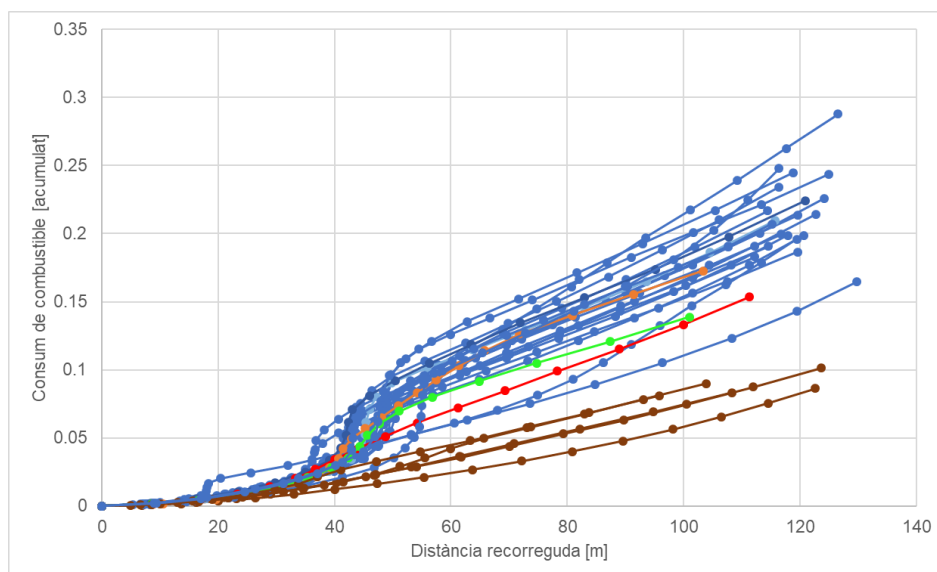


Figura 6.7: Consum de combustible en funció de la distància recorreguda

Tot seguit es vol caracteritzar el consum i les emissions dels vehicles que circulen per Comte Urgell en les hores punta indicades. A partir de les IMH, i la taula 6.4, s'estima que els vehicles que circulen pel carrer Comte Urgell en el tram d'aquesta cruïlla generen al voltant de 68g de NOx, 22,01g de PM i 341l de combustible.

|  | S'atura | No s'atura | Tots els cicles |
|--|---------|------------|-----------------|
| <b>IMH [turismes/hora]</b>             | 329     | 1506       | 1835            |
| <b>Distància mitja recorreguda [m]</b> |         | 119,91     |                 |
| <b>Combustible consumit [l]</b>        | 70,49   | 198,77     | 341,35          |
| <b>NOx [g]</b>                         | 13,19   | 43,70      | 67,78           |
| <b>PM [g]</b>                          | 3,99    | 15,53      | 22,01           |

Taula 6.5: Consums i emissions al carrer Urgell

Fixant-nos amb la taula, es comprova que succeeix el mateix que amb el carrer Aragó, és a dir, que amb la suma dels indicadors dels cicles on el vehicle s'atura amb els cicles on el vehicle no es veu afectat pel semàfor, no s'obté el mateix valor que els que hi ha a la taula 6.5.

Si es realitza el sumatori de cada indicador, els resultats són 56,89g de NOx, 19,5g de PM i es consumeixen 269l de combustible.

|  | Tots els cicles | Sumatori | Diferència |
|--|-----------------|----------|------------|
| <b>IMH [turismes/hora]</b>             | 1835            | 1835     |            |
| <b>Distància mitja recorreguda [m]</b> | 119,91          |          |            |
| <b>Combustible consumit [l]</b>        | 341,35          | 269,26   | -21%       |
| <b>NOx [g]</b>                         | 67,78           | 56,89    | -16%       |
| <b>PM [g]</b>                          | 22,01           | 19,52    | -11%       |

Taula 6.6: Comparació de consums i emissions

Observant la taula es conclou, com en el cas del carrer Aragó, que tenir en compte els cicles on el semàfor està tancat i els cicles on el semàfor està obert a l'hora de donar el resultat total afecta de manera positiva. En aquest cas, el motiu d'aquesta variació torna a ser el mateix que en el carrer Aragó, que el flux de vehicles que s'aturen al semàfor de Comte Urgell i que per tant, segueixen un cicle on s'emeten més emissions i es consumeix més combustible, és menor que els vehicles que no s'hi aturen.

#### 6.1.1.3. Cruïlla

Un cop conegudes les emissions i el consum de combustible de cada carrer és interessant unir les dades per veure que passa a la cruïlla en conjunt.

En la taula 6.7 es mostren les dades de les dues cruïlles. Observant les dades de la taula es veu que el carrer Urgell provoca més emissions i consumeix més combustible que el carrer Aragó. Això és degut a que el carrer Urgell té un pendent més elevat, el qual causa aquest augment de consum i ús de combustible. Ara bé, pot sorprendre el fet que el combustible consumit en litres és més elevat a Aragó que a Comte Urgell; aquesta dada ha estat calculada en funció de la distància recorreguda, i aquesta és més gran a Aragó (166m) que a Comte Urgell (119m). Si es divideix aquesta dada pels metres recorreguts el resultat és favorable per Aragó, és a dir, menys combustible consumit per metre. Per tant, es conclou que les característiques del carrer sí que tenen un impacte elevat en les emissions i consum de combustible.

|                                 | ARAGÓ   |            | COMTE URGELL |            |
|---------------------------------|---------|------------|--------------|------------|
|                                 | S'atura | No s'atura | S'atura      | No s'atura |
| <b>Combustible consumit [l]</b> | 0,225   | 0,161      | 0,214        | 0,132      |
| <b>Consum [l/100km]</b>         | 10,59   | 7,6        | 19,52        | 10,05      |
| <b>NOx [g/km]</b>               | 0,177   | 0,109      | 0,334        | 0,242      |
| <b>PM [g/km]</b>                | 0,069   | 0,056      | 0,101        | 0,086      |

Taula 6.7: Comparació de consum de combustible i emissions en la cruïlla Aragó-Comte Urgell

Si ara es mira els resultats tenint en compte els km recorreguts i la IMH, taula 6.8, el resultat és el contrari, és a dir, el carrer Aragó emet més emissions i consumeix més combustible. Aquest fet es produeix per la diferència de flux entre un carrer i un altre; el flux del carrer Aragó és molt més elevat que el del carrer Comte Urgell. Per tant, es determina que tenir en compte el flux de vehicles per cada carrer i la quantitat que s'aturen al semàfor i que no, és essencial.

|  | ARAGÓ   |            | COMTE URGELL |            |
|--|---------|------------|--------------|------------|
|  | S'atura | No s'atura | S'atura      | No s'atura |
| <b>IMH [turismes/hora]</b>             | 690     | 2745       | 329          | 1506       |
| <b>Distància mitja recorreguda [m]</b> | 166,37  |            | 119,91       |            |
| <b>Combustible consumit [l]</b>        | 155,29  | 441,95     | 70,49        | 198,77     |
| <b>NOx [g]</b>                         | 20,32   | 49,78      | 13,19        | 43,70      |
| <b>PM [g]</b>                          | 7,92    | 25,57      | 3,99         | 15,53      |

Taula 6.8: Comparació de resultats cruïlla Aragó - Comte Urgell

Finalment, de cara a donar un resultat de consum de combustible i emissions emeses en la cruïlla, com s'acaba de comentar, és essencial diferenciar els cicles on el vehicle s'atura i els que no, ja que el resultat no és el mateix. Per aquest motiu el consum de combustible en aquesta cruïlla i les emissions generades pels vehicles, són la suma dels resultats extrets dels dos carrers, tenint en compte la diferència entre els cicles que s'aturen i el que no. Es genera un total de 127g de NOx, 53g de PM i es consumeixen 867l de combustible.

## 6.1.2. Cruïlla València – Comte Urgell

### 6.1.2.1. Carrer València

Malgrat que el carrer València és a simple vista bastant pla igual que el carrer Aragó, les dades indiquen que té un cert pendent. En aquest cas és ascendent i d'un 0,1% de mitjana. Aquesta simulació es fa per tots els cicles que es tenen del carrer València. Un cop s'obtenen els resultats, es separen entre cicles on el vehicle s'atura al semàfor i els cicles on no. En la taula 6.9 es mostra la mitjana del consum i de les emissions pels cicles que s'aturen, pels que no i també, per tot el conjunt de cicles, sense diferenciar entre els que s'aturen i els que no.

S'observa que en aquest cas concret, el combustible consumit per tots els cicles no té valor. Això és degut a que al moment de prendre les dades hi va haver un problema amb l'obtenció d'aquestes i no tots els cicles s'han pogut analitzar amb la mateixa distància recorreguda. Es té 18 cicles on el vehicle no s'atura en el semàfor i 14 cicles del cas contrari. En la primera agrupació de cicles la distància mitjana és de 129,98m i en la segona 46,54m. Com que la diferència és important no es pot suposar que tots els cicles tenen la mateixa distància.

|                                 | S'atura | No s'atura | Tots els cicles |
|---------------------------------|---------|------------|-----------------|
| <b>Combustible consumit [l]</b> | 0,068   | 0,083      | --              |
| <b>Consum [l/100km]</b>         | 22,11   | 8,39       | 14,39           |
| <b>NOx [g/km]</b>               | 0,361   | 0,137      | 0,235           |
| <b>PM [g/km]</b>                | 0,140   | 0,069      | 0,101           |

*Taula 6.9. Consums i emissions al carrer Urgell*

Com en els altres casos analitzats, la mitjana de consum i d'emissions és més elevada quan el vehicle es veu influenciat pel semàfor. Pel que fa al consum de combustible acumulat, aquest té un valor més gran quan els vehicles no s'aturen. Però, és una dada enganyosa, ja que com s'ha dit, les distàncies són diferents i aquesta dada es veu influenciada per aquest camp. Si es divideix el valor de combustible consumit entre els metres recorreguts corresponents, el combustible consumit per metre és més elevat en els cicles on el vehicle s'atura; per tant se segueix amb la mateixa tendència que els altres casos.

Ara es vol dimensionar aquest tram del carrer València. Tenint en compte la IMH del carrer València, i la distància mitja de cada agrupació de cicles, els resultats són els següents:

|  | S'atura | No s'atura | Tots els cicles |
|--|---------|------------|-----------------|
| <b>IMH [turismes/hora]</b>             | 220     | 1129       | 1349            |
| <b>Distància mitja recorreguda [m]</b> | 46,54   | 129,98     | -               |
| <b>Combustible consumit [l]</b>        | 14,93   | 93,74      |                 |
| <b>NOx [g]</b>                         | 3,69    | 20,11      |                 |
| <b>PM [g]</b>                          | 1,43    | 10,13      |                 |

*Taula 6.10: Consum i emissions carrer València*

Per tal de poder realitzar una comparació d'emissions, es decideix imposar que la distància sigui la mateixa pels dos, i es considera la més gran. Per tant, a la següent taula, es representen aquests resultats.

|  | S'atura | No s'atura | Tots els cicles |
|--|---------|------------|-----------------|
| <b>IMH [turismes/hora]</b>             | 220     | 1129       | 1349            |
| <b>Distància mitja recorreguda [m]</b> | 129,98  | 129,98     | -               |
| <b>Combustible consumit [l]</b>        | 14,93   | 93,74      |                 |
| <b>NOx [g]</b>                         | 10,30   | 20,11      |                 |
| <b>PM [g]</b>                          | 4,00    | 10,13      |                 |

*Taula 6.11: Consum i emissions carrer València amb el mateix valor de distància recorreguda*

Analitzant la taula anterior, s'observa com el consum de combustible no varia ja que no es veu afectat per la distància. Pel que fa a les emissions, aquestes sí que augmenten però tot i així es queden per sota. A partir d'aquesta taula, es pot donar un resultat d'emissions i de consum de combustible pel carrer València. Es sumen tots els indicadors i es determina que es genera un total de 30g de NOx, 14g de PM i es consumeixen 109l de combustible.

### 6.1.2.2. Carrer Comte Urgell amb València

En aquest punt es torna a analitzar el carrer Comte Urgell però en un tram una mica més amunt. Concretament, el tram que creua amb València. En aquest cas el pendent és ascendent i d'un 1,8% de mitja. En la taula 6.12 es recullen les mitjanes de consum i emissions.

|                                 | S'atura | No s'atura | Tots els cicles |
|---------------------------------|---------|------------|-----------------|
| <b>Combustible consumit [l]</b> | 0,214   | 0,119      | 0,172           |
| <b>Consum [l/100km]</b>         | 19,72   | 13,81      | 17,09           |
| <b>NOx [g/km]</b>               | 0,297   | 0,233      | 0,269           |
| <b>PM [g/km]</b>                | 0,126   | 0,169      | 0,145           |

Taula 6.12: Consum i emissions al carrer Urgell

En aquest cas, a diferència dels altres carrers, les emissions PM tenen una mitjana superior en els cicles on el vehicle no s'atura al semàfor.

Si es té en compte el consum de combustible per la distància recorreguda, tal com es veu a la figura 6.8, s'observa com hi ha tres cicles que destaquen en quant a consum. Això succeeix perquè el vehicle s'atura diverses vegades a causa del trànsit, és el que es coneix com efecte acordió. Aquest fet s'identifica en el cicle de color verd i en el taronja. Pel que fa al cicle vermell, aquest augmenta el consum de combustible de manera brusca al final. El motiu és que la velocitat és molt petita i per tant la distància recorreguda també. Es pot determinar com el consum de combustible augmenta sobretot quan la distància recorreguda és molt petita o nul·la (cercles de color blau), és a dir, en el moment en que s'accelera i es frena contínuament.

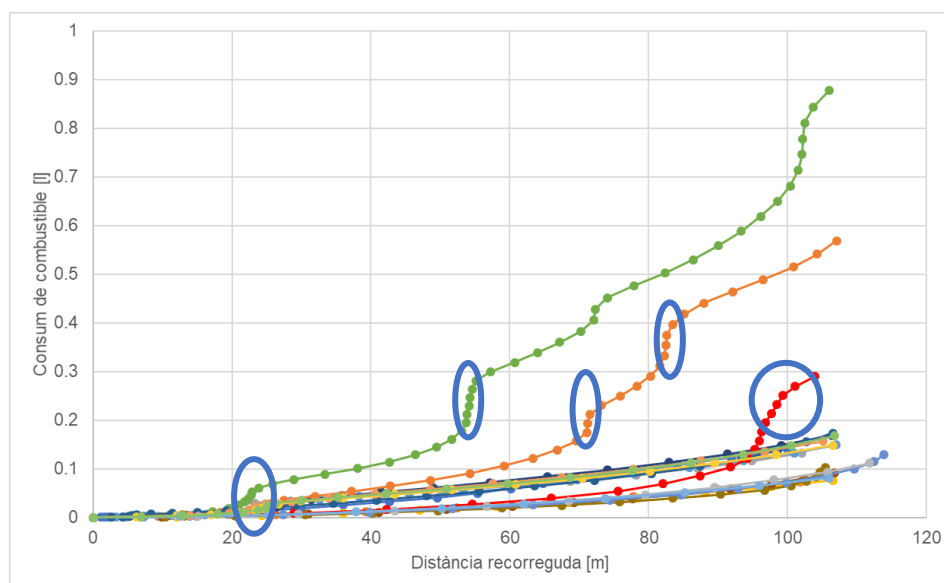


Figura 6.8: Consum de combustible en funció de la distància recorreguda

Eliminant aquest tres cicles per tal d'analitzar que passa amb la resta, es veu a la figura 6.9 que el comportament és el mateix que en els altres carrers estudiats; és a dir, que els cicles on el vehicle s'ha d'aturar tenen un consum superior (color blau), i els cicles on el vehicle no es veu afectat pel semàfor consumeixen menys combustible.

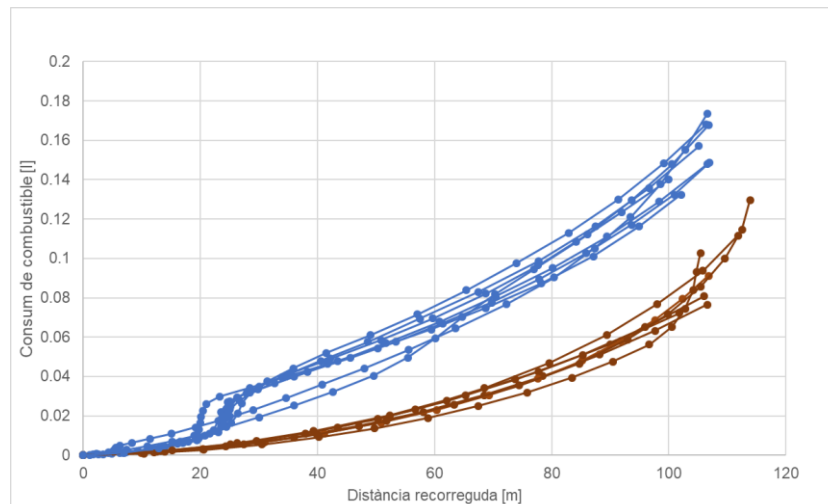


Figura 6.9: Consum de combustible en funció de la distància recorreguda

A la figura 6.10 es mostren les emissions de NOx i PM en funció del combustible consumit. Si s'observa les emissions de NOx, aquestes tenen un comportament similar al dels altres carrers, augmenten segons el combustible consumit i en general són majors pels cicles que es troben el semàfor tancat. En canvi, les emissions PM tenen un comportament diferent perquè són els cicles on el vehicle no s'atura els que produeixen més PM tot i consumir un valor molt semblant de combustible. Si es mira per separat la tendència d'emissions PM segons el combustible consumit pels vehicles que s'aturen (color blau) i els que no (color marró), s'observa que els dos tenen una tendència creixent en funció del combustible, fet que es compleix en tots els altres cicles.

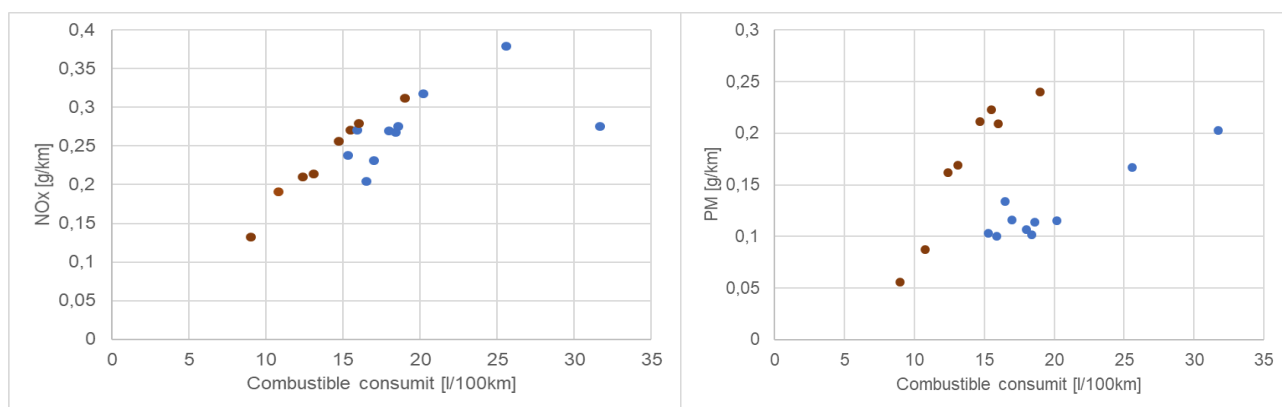


Figura 6.10: Emissions NOx i PM en funció del combustible consumit



Tot seguit es vol caracteritzar el consum i les emissions dels vehicles que circulen pel carrer Comte Urgell en les hores punta indicades. Per tant, utilitzant les IMH, i la taula 6.12, s'estima que els vehicles que circulen pel carrer Comte Urgell en el tram d'aquesta cruïlla generen al voltant de 57g de NOx, 30,72g de PM i 344l de combustible.

|  | <b>S'atura</b> | <b>No s'atura</b> | <b>Tots els cicles</b> |
|--|----------------|-------------------|------------------------|
| <b>IMH [turismes/hora]</b>             | 1631           | 366               | 1997                   |
| <b>Distància mitja recorreguda [m]</b> |                | 106,09            |                        |
| <b>Combustible consumit [l]</b>        | 349,10         | 43,55             | 343,54                 |
| <b>NOx [g]</b>                         | 51,40          | 9,05              | 57,00                  |
| <b>PM [g]</b>                          | 21,81          | 6,56              | 30,72                  |

*Taula 6.13: Consum i emissions carrer Urgell*

A la taula 6.13 s'observa com els cicles que s'aturen consumeixen més combustible i emeten més emissions. Aquest fet és tot el contrari del que s'ha vist en els punts anteriors on els resultats eren al revés. Això és degut a que un gran nombre de vehicles s'aturen al semàfor. En aquest semàfor en concret s'aturen molts vehicles perquè hi arriben tots els provinents d'Avinguda Roma i els del mateix Comte Urgell.

També comentar, que en aquest cas el combustible consumit per tots els cicles és menor que si només es tenen en compte els cicles que s'aturen. Això també es deu al flux de vehicles. Fins ara s'ha vist que els cicles afectats pel semàfor produeixen emissions més elevades i consumeixen més combustible, en aquest cas passa el mateix. La diferència és que en els altres casos el tant per cent de vehicles que s'aturaven al semàfor era molt petit respecte als vehicles totals; en canvi aquí succeeix el contrari. Per tant, suposa una major consum de combustible i d'emissions generades. Realitzant el sumatori dels diferents valors, el resultat final és que es generen 60,45g de NOx, 28,37g de PM i finalment, es consumeixen 392,7l de combustible. Si es compara amb el resultat obtingut de tots els cicles, la diferència en percentatge és negativa en dos aspectes. A la taula 6.14 es pot veure aquest fet.

|  | <b>Tots els cicles</b> | <b>Sumatori</b> | <b>Diferència</b> |
|--|------------------------|-----------------|-------------------|
| <b>IMH [turismes/hora]</b>             | 1997                   | 1997            |                   |
| <b>Distància mitja recorreguda [m]</b> |                        | 106,09          |                   |
| <b>Combustible consumit [l]</b>        | 343,54                 | 392,66          | +14%              |
| <b>NOx [g]</b>                         | 57,00                  | 60,45           | +6%               |
| <b>PM [g]</b>                          | 30,72                  | 28,37           | -8%               |

*Taula 6.14: Comparació de combustible consumit i emissions NOx i PM*

En aquest tram de Comte Urgell tenir en compte els cicles que es veuen afectats pels semàfors i els que no, augmenta els resultats de combustible consumit i de grams de NOx emesos. Pel que fa a les emissions de PM es redueixen un 8%, respecte al resultat de la taula 6.14. Aquesta diferència entre el combustible i les emissions NOx i les emissions PM és perquè d'emissions PM, en aquest cas concret, se'n generen més quan els cicles no es veuen influenciats pel semàfor.

### 6.1.2.3. Cruïlla

En aquesta cruïlla es repetirà el mateix procediment que en l'anterior.

En la taula 6.15 es mostren les dades dels dos carrers que formen la cruïlla. Observant les dades de la taula es veu que el carrer Urgell genera més emissions i consumeix més combustible que el carrer València quan els cicles no es veuen influenciats pel semàfor. En canvi, si s'observa pels dos carrers les dades dels cicles que s'aturen, es genera més emissions i es consumeix més combustible en el cas del carrer València.

|                                 | VALÈNCIA |            | COMTE URGELL |            |
|---------------------------------|----------|------------|--------------|------------|
|                                 | S'atura  | No s'atura | S'atura      | No s'atura |
| <b>Combustible consumit [l]</b> | 0,068    | 0,083      | 0,214        | 0,119      |
| <b>Consum [l/100km]</b>         | 22,11    | 8,39       | 19,72        | 13,81      |
| <b>NOx [g/km]</b>               | 0,361    | 0,137      | 0,297        | 0,233      |
| <b>PM [g/km]</b>                | 0,14     | 0,069      | 0,126        | 0,169      |

*Taula 6.15: Comparació de consum de combustible i emissions en la cruïlla València-Comte Urgell*

Si ara es mira els resultats tenint en compte els km recorreguts i la IMH, taula 6.16, es conclou que el carrer Comte Urgell emet més emissions i consumeix més combustible que el carrer València. Aquest fet queda molt accentuat ja que el flux de vehicles que s'aturen al semàfor de Comte Urgell és molt elevat.

|  | VALÈNCIA |            | COMTE URGELL |            |
|--|----------|------------|--------------|------------|
|  | S'atura  | No s'atura | S'atura      | No s'atura |
| <b>IMH [turismes/hora]</b>             | 220      | 1129       | 1631         | 366        |
| <b>Distància mitja recorreguda [m]</b> | 129,98   |            | 106,09       |            |
| <b>Combustible consumit [l]</b>        | 14,93    | 93,74      | 349,10       | 43,55      |
| <b>NOx [g]</b>                         | 10,30    | 20,11      | 51,40        | 9,05       |
| <b>PM [g]</b>                          | 4,00     | 10,13      | 21,81        | 6,56       |

*Taula 6.16: Comparació de resultats cruïlla València - Comte Urgell*

Finalment, de cara a donar un resultat de consum de combustible i emissions emeses en la cruïlla, i tenint en compte que afecta al resultat diferenciar els cicles on el vehicle s'atura i els que no; es genera un total de 90,86g de NOx, 42,5g de PM i es consumeixen 501l de combustible.

### 6.1.3. Cruïlla Av. Roma – Comte Urgell

Com s'ha comentat al punt 5.2.2, els cicles obtinguts pel carrer Comte Urgell amb Av. Roma no s'adapten a la realitat, per tant en aquest punt únicament s'estudia els cicles d'Av. Roma.

#### 6.1.3.1. Av. Roma

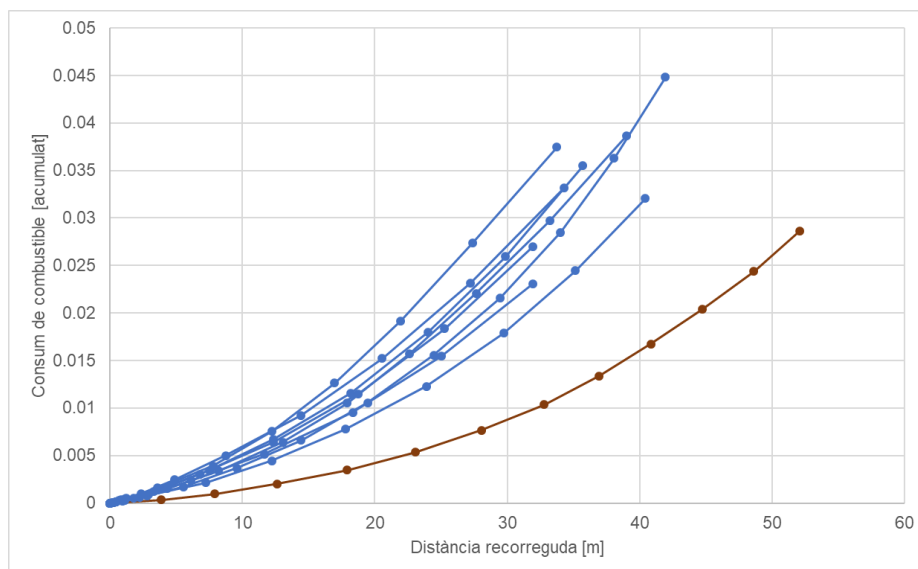
S'efectua una simulació considerant el pendent de la via, que en aquest cas és ascendent i d'un 0,1% de mitjana. Aquesta simulació es fa per tots els cicles que es tenen d'Av. Roma. En la taula 6.17 es mostra la mitjana del consum i de les emissions pels cicles que s'aturen, pels que no i també, per tot el conjunt de cicles, indiferentment de si els vehicles s'aturen o no.

|                                 | S'atura | No s'atura | Tots els cicles |
|---------------------------------|---------|------------|-----------------|
| <b>Combustible consumit [l]</b> | 0,032   | 0,029      | 0,032           |
| <b>Consum [L/100km]</b>         | 23,13   | 8,2        | 21,54           |
| <b>NOx [g/km]</b>               | 0,319   | 0,126      | 0,300           |
| <b>PM [g/km]</b>                | 0,153   | 0,053      | 0,142           |

*Taula 6.17: Consums i emissions a Avinguda Roma*

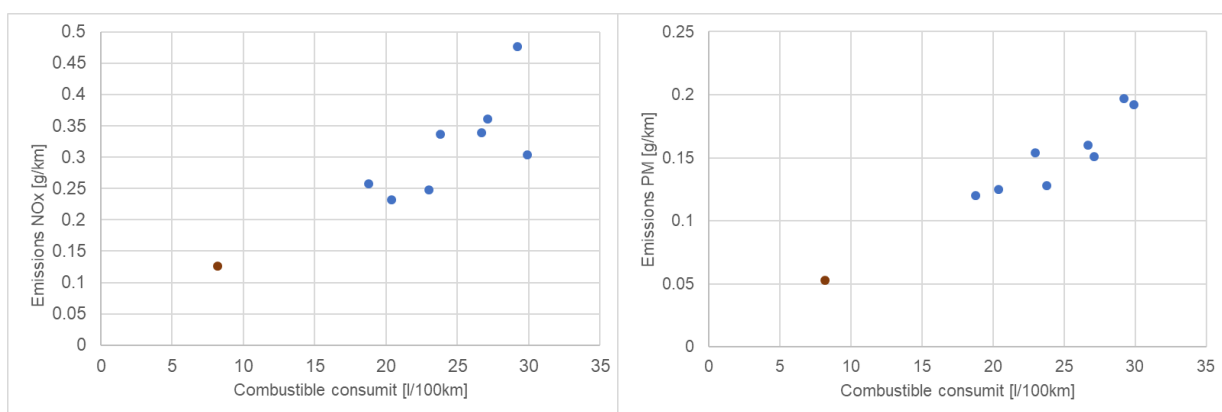
En primer lloc, cal comentar que només hi ha un cicle on el vehicle no es veu afectat pel semàfor. Això és degut a que per agafar el semàfor d'Av. Roma en fase oberta s'havia de realitzar un itinerari molt llarg i suposava una pèrdua important de temps. A més a més, l'Av. Roma no era prioritària en l'estudi ja que els altres carrers tenen un flux més important de vehicles. Tot i així s'ha estudiat i en el pitjor dels casos, és a dir quan el vehicle s'atura. Comentat aquest aspecte, a la taula 6.17 s'observa com el consum i les emissions dels vehicles que s'aturen són més elevades que les del cicle on el vehicle no s'ha d'aturar. Pel que fa a la mitjana de tots els cicles aquesta es veu molt poc influenciada per l'únic cicle on el vehicle no s'atura i per tant, és molt semblant a la mitja dels cicles en que el vehicle es troba el semàfor tancat.

En la figura 6.11 es veu representada la gràfica de consum de combustible en funció de la distància recorreguda. Com en les figures anteriors, els cicles de color blau són aquells on el vehicle s'atura i el de color marró el que no s'atura. Es verifica doncs, que el consum de combustible és més important quan el vehicle s'atura.



*Figura 6.11: Consum de combustible segons la distància recorreguda a l'Avinguda Roma*

A continuació, també s'ha volgut representar gràficament les emissions NOx i PM en funció de la distància. En la figura 6.12 es pot observar com el comportament és el mateix que en altres casos on les emissions de NOx i PM són més elevades pels cicles on el vehicle s'ha d'aturar el semàfor.



*Figura 6.12: Emissions NOx i PM en funció del combustible consumit*

Tot seguit es vol caracteritzar el consum i les emissions dels vehicles que circulen per Av. Roma en les hores punta indicades. S'estima que els vehicles que circulen pel carrer Av. Roma en el tram d'aquesta cruïlla generen al voltant de 10,5g de NOx, 5g de PM i 23l de combustible.

|  | <b>S'atura</b> | <b>No s'atura</b> | <b>Tots els cicles</b> |
|--|----------------|-------------------|------------------------|
| <b>IMH [turismes/hora]</b>             | 125            | 586               | 711                    |
| <b>Distància mitja recorreguda [m]</b> |                | 49,37             |                        |
| <b>Combustible consumit [l]</b>        | 4,02           | 16,98             | 22,75                  |
| <b>NOx [g]</b>                         | 1,97           | 3,64              | 10,53                  |
| <b>PM [g]</b>                          | 0,95           | 1,53              | 4,99                   |

Taula 6.18: Consums i emissions a l'Avinguda Roma

Si s'observa bé la taula 6.18 com ha succeït en la resta de carrers la suma de combustible consumit dels cicles que s'aturen i el que no s'aturen no és igual al valor de combustible consumit de tots els cicles. El mateix succeeix amb les emissions NOx i PM.

Si es fa la suma dels tres indicadors, els valors que es generen són 5,6g de NOx, 2,5g de PM i es consumeix 21l de combustible. A la següent taula se pot veure resumit aquest fet:

|  | <b>Tots els cicles</b> | <b>Sumatori</b> | <b>Diferència</b> |
|--|------------------------|-----------------|-------------------|
| <b>IMH [turismes/hora]</b>             | 711                    | 711             | 711               |
| <b>Distància mitja recorreguda [m]</b> | 49,37                  |                 |                   |
| <b>Combustible consumit [l]</b>        | 22,75                  | 21,00           | -8%               |
| <b>NOx [g]</b>                         | 10,53                  | 5,61            | -47%              |
| <b>PM [g]</b>                          | 4,99                   | 2,48            | -50%              |

Taula 6.19: Comparació de consums i emissions a l'Avinguda Roma

Observant la taula, es conclou que, tot i tenir un únic cicle on el vehicle no s'atura, aquest afecta de manera positiva en els resultats. El flux de vehicles que no s'aturen és molt més elevat que el flux de vehicles que s'aturen al semàfor. Per aquest motiu, tot i haver-hi un únic cicle, el flux influència molt en el resultat.

## 6.2. Comparació de Resultats

En aquest apartat es vol comparar les diferents dades extretes dels carrers que tinguin característiques semblants. En aquest sentit, Aragó i València tenen un pendent similar. Pel que fa als trams de Comte Urgell es comparen entre ells.

### 6.2.1. Comparació carrer Aragó, carrer València i Av. Roma

Primerament, es comparen els resultats obtinguts en el carrer Aragó, el carrer València i Avinguda Roma. A la taula 6.20 s'hi troben totes les dades.

|                         | ARAGÓ   |            | VALÈNCIA |            | AV. ROMA |            |
|-------------------------|---------|------------|----------|------------|----------|------------|
|                         | S'atura | No s'atura | S'atura  | No s'atura | S'atura  | No s'atura |
| <b>Consum [L/100km]</b> | 10,59   | 7,6        | 22,11    | 8,39       | 23,125   | 8,2        |
| <b>NOx [g/km]</b>       | 0,177   | 0,109      | 0,361    | 0,137      | 0,319    | 0,126      |
| <b>PM [g/km]</b>        | 0,069   | 0,056      | 0,140    | 0,069      | 0,153    | 0,053      |

*Taula 6.20: Comparació de les dades de consum i emissions del carrer Aragó, carrer València i Av. Roma*

A la taula 6.20 s'observa que el carrer Aragó és el que consumeix menys combustible i també genera menys emissions. Aquesta diferència es deu a que el carrer Aragó té un pendent descendent, i per tant ajuda a que les emissions i el consum de combustible sigui més petit. Pel que fa a Av. Roma i al carrer València, aquests són dos carrers de característiques molt similars, i també es reflexa en el resultat d'emissions i consum, que són molt semblants.

A continuació es comparen els resultats obtinguts un cop dimensionada la via. En la taula 6.21, es veuen totes les dades conjuntament. En primer lloc destacar que tots tres carrers tenen un percentatge petit de vehicles que s'aturen al semàfor, concretament un 20%, un 16% i un 18% respectivament. En aquest cas les emissions generades i el combustible consumit són més elevats al carrer Aragó que en els altres dos. El motiu d'aquest canvi respecta la taula anterior és que el carrer Aragó té un flux de vehicles més elevat.

|  | ARAGÓ   |            | VALÈNCIA |            | AV. ROMA |            |
|--|---------|------------|----------|------------|----------|------------|
|  | S'atura | No s'atura | S'atura  | No s'atura | S'atura  | No s'atura |
| <b>IMH [turismes/hora]</b>             | 690     | 2745       | 220      | 1129       | 125      | 586        |
| <b>Distància mitja recorreguda [m]</b> | 166,37  |            | 129,98   |            | 49,37    |            |
| <b>Combustible consumit [l]</b>        | 155,29  | 441,95     | 14,93    | 93,74      | 4,02     | 16,98      |
| <b>NOx [g]</b>                         | 20,32   | 49,78      | 10,30    | 20,11      | 1,97     | 3,64       |
| <b>PM [g]</b>                          | 7,92    | 25,57      | 4,00     | 10,13      | 0,95     | 1,53       |

*Taula 6.21: Comparació de les dades de consum i emissions del carrer Aragó, carrer València i Av. Roma, tenint en compte les IMH*

Com que a l'anterior taula s'ha tingut en compte la distància, per tal d'acabar de confirmar que el carrer Aragó és el que més contamina, es realitza la taula 6.22 que és el mateix que la taula 6.21 però dividint els valors afectats per la distància per ella mateixa.



|   | ARAGÓ   |            | VALÈNCIA |            | AV. ROMA |            |
|---|---------|------------|----------|------------|----------|------------|
|   | S'atura | No s'atura | S'atura  | No s'atura | S'atura  | No s'atura |
| <b>IMH</b><br><b>[turismes/hora]</b>      | 690     | 2745       | 220      | 1129       | 125      | 586        |
| <b>Combustible</b><br><b>consumit [l]</b> | 155,29  | 441,95     | 14,93    | 93,74      | 4,02     | 16,98      |
| <b>NOx</b><br><b>[g*vehicle/km]</b>       | 122,13  | 299,21     | 79,42    | 154,67     | 39,9     | 73,84      |
| <b>PM [g*vehicle/km]</b>                  | 47,61   | 153,72     | 30,8     | 77,90      | 19,125   | 31,06      |

Taula 6.22: Comparació de les dades de consum i emissions del carrer Aragó, carrer València i Av. Roma

En la taula 6.22 es verifica que el flux de vehicles influeix molt en les emissions i el consum de combustible tal i com era d'esperar.

Per tant, d'aquest punt s'extreu que el pendent descendent disminueix les emissions de NOx i PM, i el consum de combustible. També s'observa que el flux influencia molt en els resultats finals i per tant, és essencial prioritzar la coordinació semafòrica en tots aquells carrers on el flux és major. Aquest fet es veu representat pel carrer Aragó, el qual és el que genera menys emissions i consumeix menys combustible dels tres però al dimensionar al carrer amb el flux, passa a ser el que genera més emissions i consumeix més combustible. Per acabar, s'ha vist que els cicles on el vehicle s'atura al semàfor es produeixen més emissions i es consumeix més combustible degut a la frenada i posterior acceleració.

### 6.2.2. Comparació entre trams del carrer Comte Urgell

En aquest punt es vol veure si les emissions emeses i el consum de combustible en els dos trams de Comte Urgell són semblants o per el contrari presenten diferències. Primerament, es compara les emissions de NOx i PM i el consum de combustible, sense tenir en compte el flux de vehicles.

|                         | COMTE URGELL AMB<br>ARAGÓ |            | COMTE URGELL AMB<br>VALÈNCIA |            |
|-------------------------|---------------------------|------------|------------------------------|------------|
|                         | S'atura                   | No s'atura | S'atura                      | No s'atura |
| <b>Consum [l/100km]</b> | 19,52                     | 10,05      | 19,72                        | 13,81      |
| <b>NOx [g/km]</b>       | 0,334                     | 0,242      | 0,297                        | 0,233      |
| <b>PM [g/km]</b>        | 0,101                     | 0,086      | 0,126                        | 0,169      |

Taula 6.23 Comparació d'emissions i consum de combustible pel carrer Comte Urgell

En la taula anterior es veu que els resultats obtinguts són molt semblants en els dos casos. La diferència més important és que en el cas de Comte Urgell amb València aquest té més elevades les emissions PM en els cicles on el vehicle no s'atura, al contrari que la majoria de casos. Per la resta, es pot veure com les simulacions per cada un dels trams han sortit molt semblants.

A continuació es compara el resultat dels dos trams tenint en compte la IMH i la distància recorreguda. En la taula 6.24 es veu com en el tram en que Comte Urgell creua Aragó es prioritza la no aturada dels vehicles, en canvi en el cas de Comte Urgell amb València s'hi aturen més cotxes dels que passen sense aturar-s'hi. A simple vista es pot veure com és més contaminant el semàfor de Comte Urgell amb València que no pas el d'Aragó. Aquest fet es produeix per dos motius, primerament perquè com s'ha dit s'aturen un gran nombre de vehicles en aquest semàfor i en segon lloc, el flux d'aquest tram és més elevat que el de Comte Urgell amb Aragó, ja que apart de la gran majoria dels vehicles de Comte Urgell amb Aragó, s'hi sumen els vehicles que provenen d'Av. Roma.

|  | <b>COMTE URGELL AMB<br/>ARAGÓ</b> |                   | <b>COMTE URGELL AMB<br/>VALÈNCIA</b> |                   |
|--|-----------------------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------|
|  | <b>S'atura</b>                    | <b>No s'atura</b> | <b>S'atura</b>                       | <b>No s'atura</b> |
| <b>IMH [turismes/hora]</b>                 | 329                               | 1506              | 1631                                 | 366               |
| <b>Distància mitja<br/>recorreguda [m]</b> | 119,91                            |                   | 106,09                               |                   |
| <b>Combustible consumit [l]</b>            | 70,49                             | 198,77            | 349,10                               | 43,55             |
| <b>NOx [g]</b>                             | 13,19                             | 43,70             | 51,40                                | 9,05              |
| <b>PM [g]</b>                              | 3,99                              | 15,53             | 21,81                                | 6,56              |

*Taula 6.24: Comparació consums i emissions Comte Urgell amb Aragó i amb València*

En aquest cas no s'extreuen conclusions sobre el pendent ja que aquest es pot considerar igual però sí que es conclou que el carrer Comte Urgell amb València és més contaminant que el semàfor de Comte Urgell amb Aragó, degut al flux de vehicles. I, que és important prioritzar que els vehicles no s'aturin a un semàfor ja que com s'ha dit abans les màximes emissions i consums de combustibles es produeixen en aquest punt.

Finalment, com que aquests dos casos han donat unes dades molt semblants, es podria utilitzar la mitjana d'ambdues per tal d'obtenir resultats pel tram de Comte Urgell amb Avinguda Roma. En la taula 6.25, es troben els valors aproximats.

**COMTE URGELL AMB  
AV. ROMA**

|                            | <b>S'atura</b> | <b>No s'atura</b> |
|----------------------------|----------------|-------------------|
| <b>IMH [turismes/hora]</b> | 108            | 1543              |
| <b>Consum [l/100km]</b>    | 19,62          | 23,86             |
| <b>NOx [g*vehicle/km]</b>  | 34,07          | 732,93            |
| <b>PM [g*vehicle/km]</b>   | 12,26          | 196,73            |

*Taula 6.25: Consums i emissions Comte Urgell amb Av. Roma*

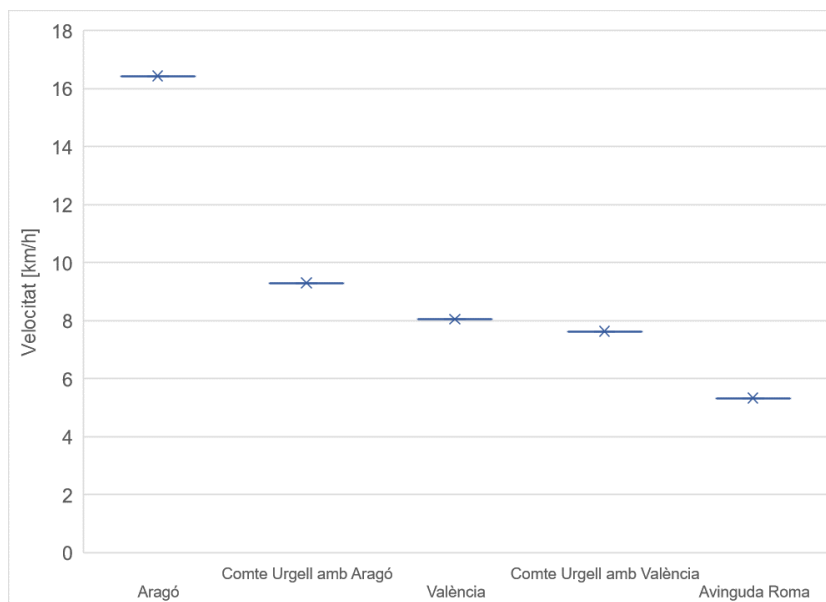
### 6.2.3. Comparació de cruïlles

Per acabar la comparació de resultats és necessari comparar les cruïlles entre sí. Es vol realitzar una anàlisi global de les dades per intentar trobar tendències i també, avaluar els efectes de les diferents suposicions que s'han anat efectuant.

Com que s'ha determinat que es important diferenciar els cicles on el vehicle s'atura i els que no, en aquest apartat es realitzaran les comparacions tenint en compte aquest aspecte.

Primerament es fa un anàlisi de la velocitat mitjana dels diferents carrers.

En la figura 6.13 es poden veure les velocitats mitjanes de tots els cicles que es troben el semàfor tancat per cada una de les vies que s'han estudiat. Destaca la velocitat mitjana d'Aragó, que és molt elevada i per tant el més ràpid. En quan al més lent és el d'Avinguda Roma.



*Figura 6.13: Velocitat mitjana segons carrer amb cicles de semàfor tancat*

En la figura 6.14 també es representa la velocitat mitjana de cada via però només es tenen en compte els cicles que no es veuen influenciats pel semàfor. Es veu com el carrer Comte Urgell amb València i el carrer València tenen una velocitat mitja més elevada. Avinguda Roma torna a tenir la velocitat mitja més petita.

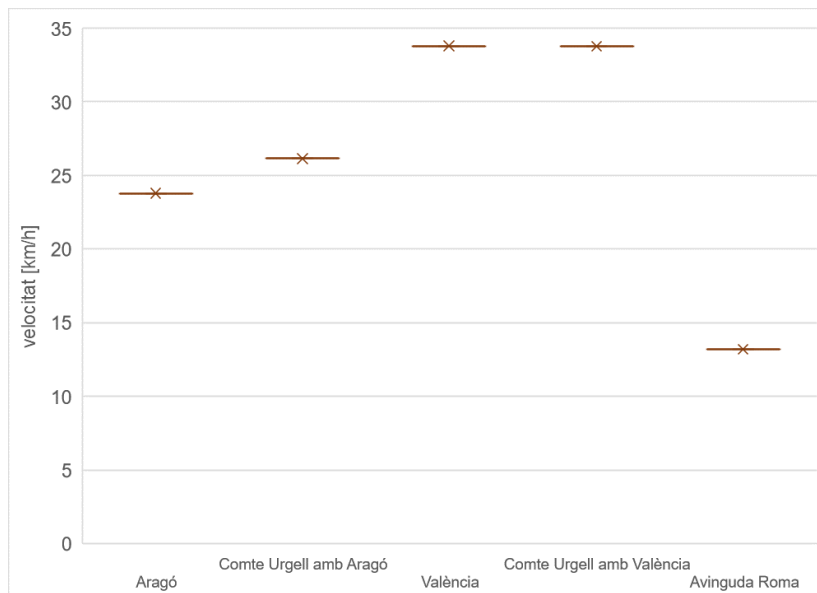


Figura 6.14: Velocitat mitjana segons carrer amb cicles de semàfors obert

Tot seguit es vol estudiar el consum de combustible de cada via i la relació amb la velocitat mitjana.

La figura 6.15 representa el consum mitjà de combustible per cada un dels carrers tenint en compte els cicles on el semàfor està tancat. S'observa com el carrer Aragó és el que té un consum més baix i el carrer València i Av. Roma tenen un consum molt elevat.

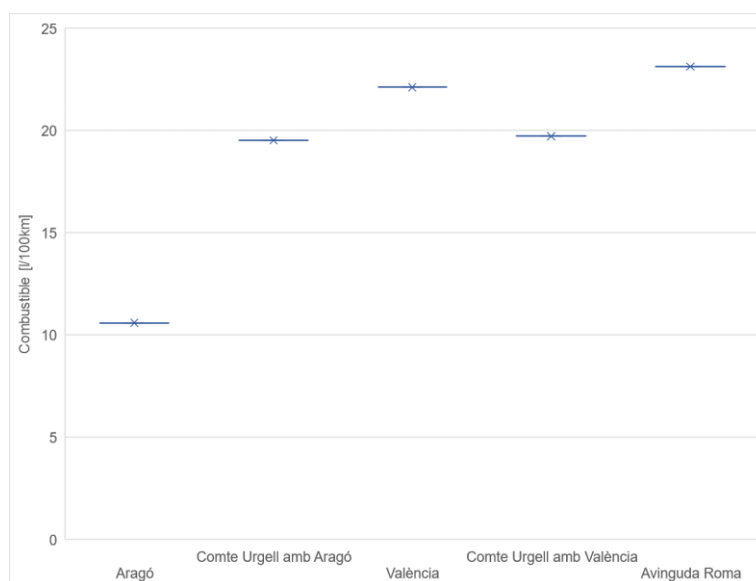


Figura 6.15: Consums segons carrer amb cicles de semàfor tancat

A continuació, es representa el consum de combustible tenint en compte els cicles que es troben el semàfor en obert. En aquest cas, el Carrer de Comte Urgell, tant amb Aragó com amb València, són els que tenen un consum més elevat. Pel que fa, al carrer Aragó, segueix sent el carrer que té un consum de combustible més baix.

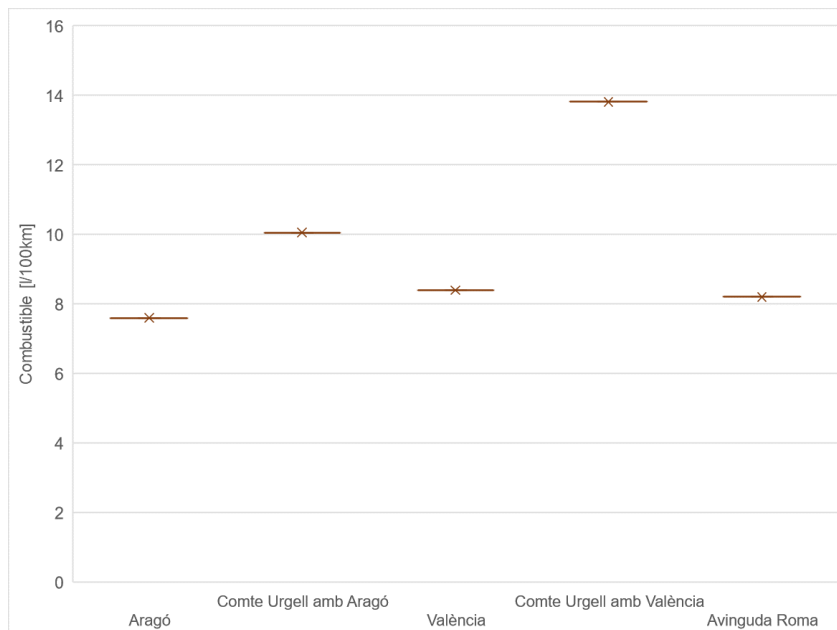


Figura 6.16: Consums segons carrer amb cicles de semàfor obert

A continuació, s'intenta esbrinar quines són les condicions que fan pujar o disminuir el consum de combustible. Es comença avaluant el consum en funció de la velocitat mitjana i tenint en compte tots els cicles en que el vehicle s'atura al semàfor. En la figura 6.17, es veu una clara relació entre la velocitat mitjana i el consum de combustible, de manera que aquells que circulen més lents, consumeixen més combustible.

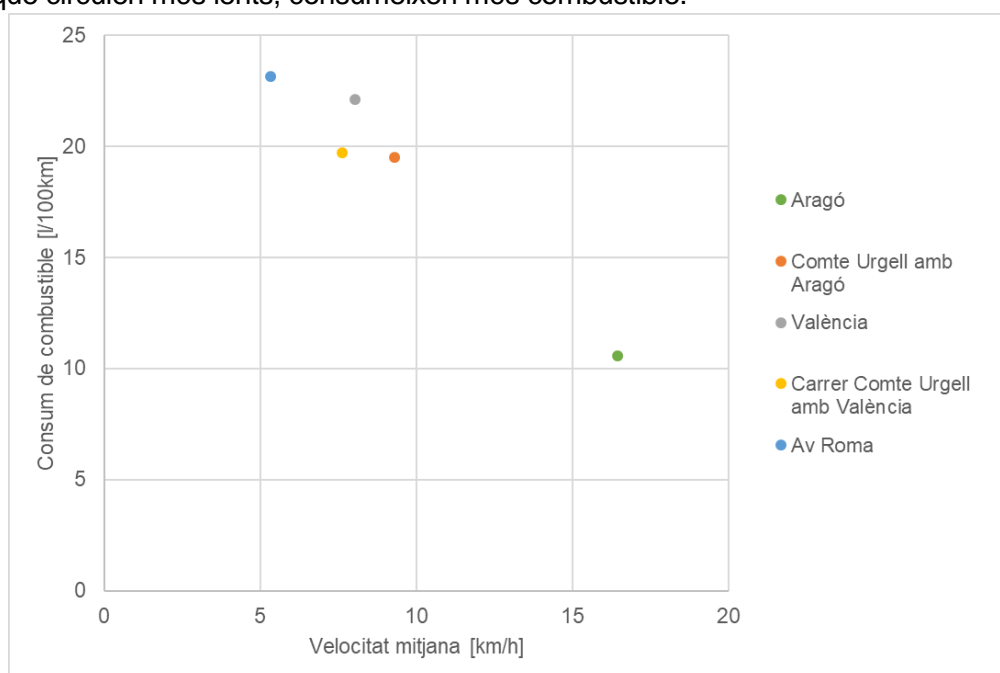
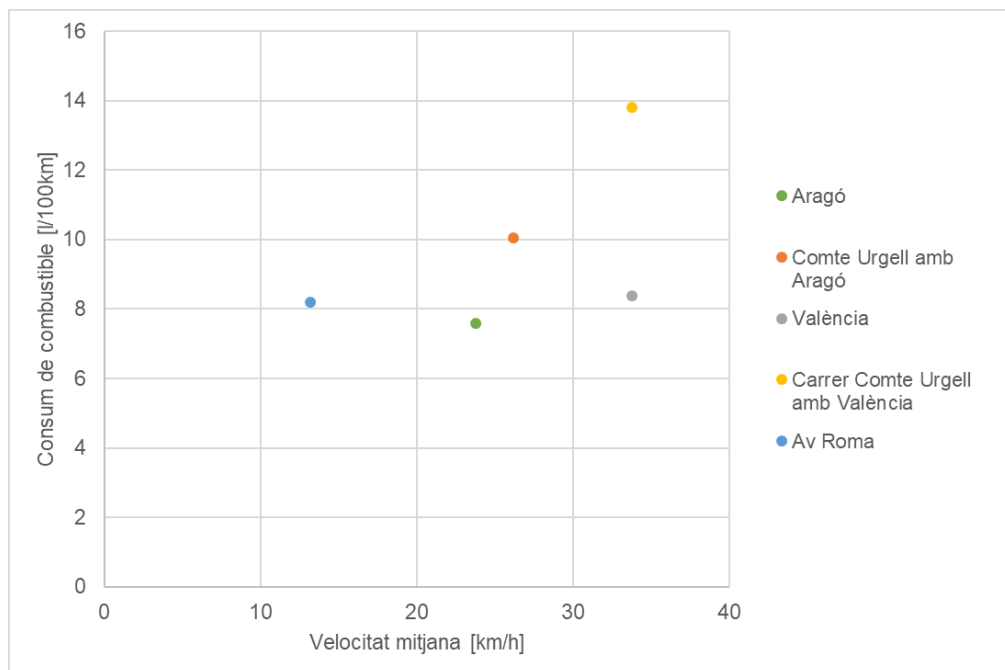


Figura 6.17: Consums de combustible en funció de la velocitat mitjana amb cicles de semàfor tancat

Ara s'estudia el mateix però tenint en compte tots els cicles en que el vehicle es troba el semàfor obert. Els resultats es mostren a la figura 6.18. En aquest cas, no hi ha una clara relació amb la velocitat. Si s'observa atentament la figura, es veu com els carrers que consumeixen més són el carrer Comte Urgell amb Aragó i amb València, seguits pel carrer València i Avinguda Roma i finalment, es troba el carrer Aragó. Vist aquest ordre, es conclou que els carrers amb un pendent superior consumeixen més. Com s'ha comentat a l'estudi realitzat al punt 6.2.1 entre el carrer Aragó, València i Comte Urgell, es confirma que els carrers amb un pendent descendent consumeixen menys combustible.



*Figura 6.18: Consums de combustible en funció de la velocitat mitjana amb cicles de semàfor obert*

Comparant la figura 6.17 i 6.18, s'observa com els valors de consum de combustible són més elevats en la primera figura, és a dir, es consumeix més combustible en els cicles on el vehicle s'ha d'aturar al semàfor. Es confirma el que ja s'havia notat en els punts anteriors.

Per tant, es conclou que els vehicles consumeixen més combustible en els cicles on es troben el semàfor tancat. Quan es realitzen aquests cicles, hi ha velocitats baixes o fluctuen molt, és a dir, es produeixen frenades i acceleracions, en aquest cas, el consum de combustible té una clara correlació amb la velocitat, com més baixa és la velocitat més combustible es consumeix. Per altra banda, si el vehicle realitza cicles on troba el semàfor obert, el consum de combustible es veurà afectat pel pendent del carrer, com més pendent més combustible.



Un cop analitzats els consums de combustible, es procedeix a fer el mateix amb les emissions d'Òxids de Nitrogen i partícules en suspensió.

Es comença analitzant les emissions NOx i PM per cada un dels carrers, separant els cicles on el vehicle s'ha d'aturar amb els que no. La figura 6.19 representen els cicles on el vehicle s'ha hagut d'aturar i la figura 6.20 els altres. S'observa que les emissions NOx i PM segueixen un comportament semblant al del consum (figura 6.13 i 6.14). També s'identifica que les emissions NOx i les emissions PM adopten un comportament similar pels diferents carrers. Destacar les poques emissions del Carrer Aragó en comparació als altres carrers que tenen unes mitjanes més semblants.

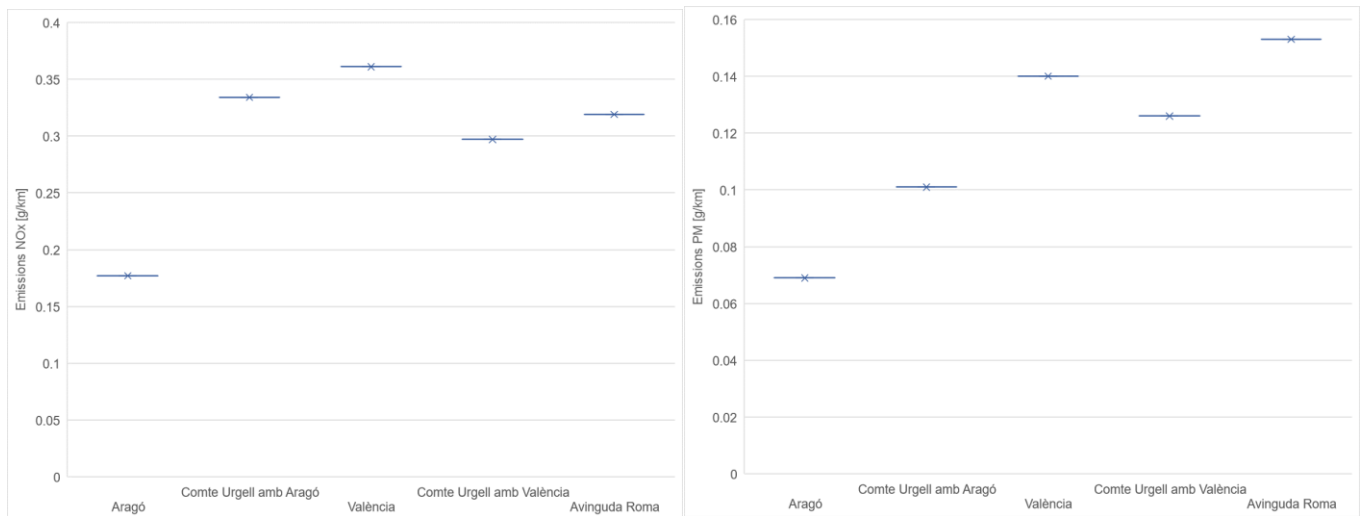


Figura 6.19: Emissions NOx i PM tots els carrers agrupant cicles semàfor tancat

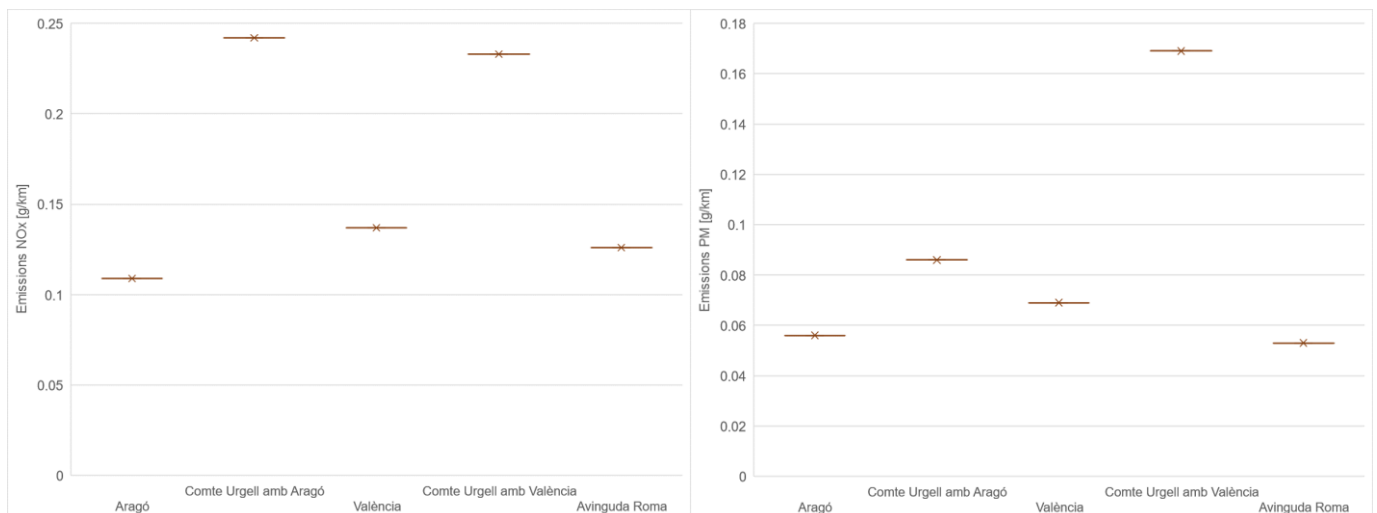
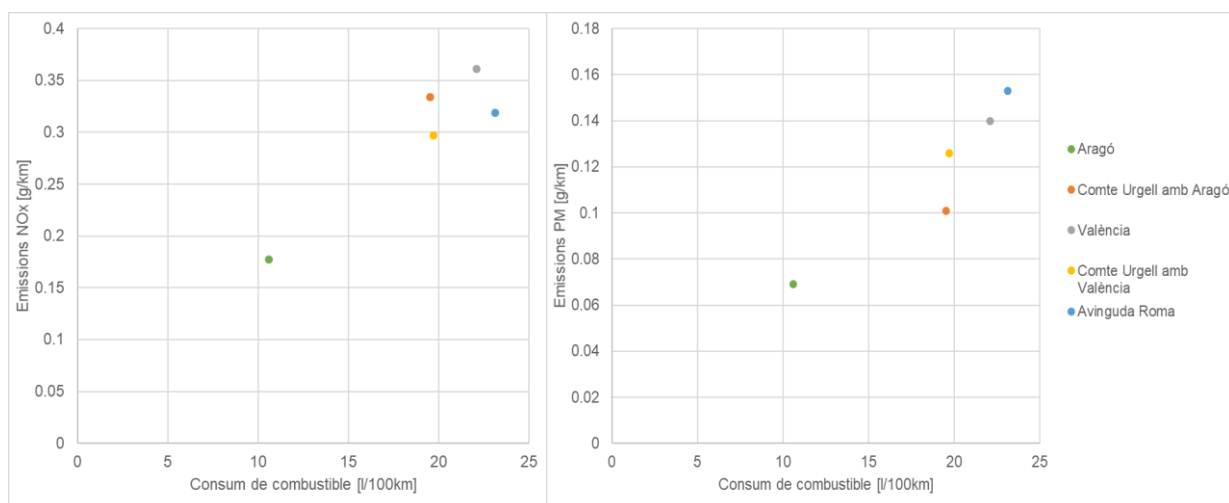


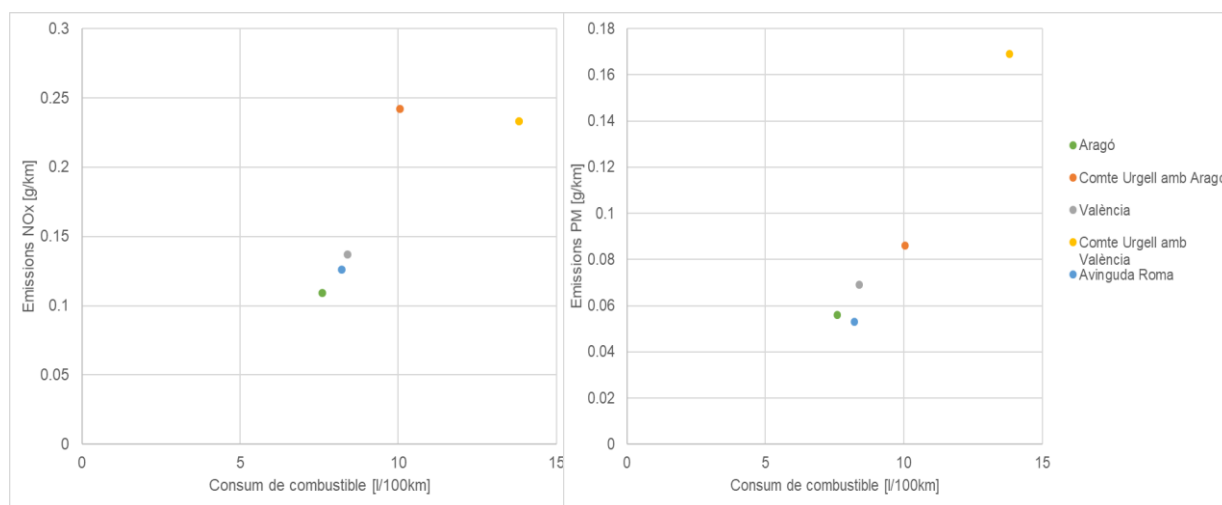
Figura 6.20: Emissions NOx i PM tots els carrers agrupant cicles semàfor obert

D'aquestes dues figures no s'extreu cap relació entre les emissions i el pendent de la via però sí amb el consum, que es veu més detalladament a la figura 6.21 i 6.22. S'observa que les emissions NOx i PM tenen un comportament semblant entre sí, tant en els cicles on es troben els semàfors oberts com tancats. També es determina que les emissions són més elevades pels cicles on el vehicle s'atura a un semàfor (figura 19).

Es vol analitzar més detalladament la relació entre les emissions i el consum i per això es representen la figura 6.21 i 6.22. En les dues figures s'observa una clara relació entre el consum de combustible i les emissions generades. Com més consum més emissions es produeixen, tant de NOx com de PM. Destacar el que s'ha comentat anteriorment, que el carrer Aragó genera molt poques emissions i que l'Avinguda Roma genera moltes emissions de PM en els cicles on el vehicle es troba el semàfor tancat. En la figura 6.22 sí que es pot apreciar relació entre el pendent i les emissions. Els carrers amb més pendent consumeixen més consum i per tant, generen més emissions, com és el cas de Comte Urgell.



**Figura 6.21: Emissions NOx i PM en funció del consum de combustible tots els carrers agrupant cicles semàfor tancat**



**Figura 6.22: Emissions NOx i PM en funció del consum de combustible tots els carrers agrupant cicles semàfor obert**

Per acabar amb l'anàlisi de les emissions, es representen en funció de la velocitat mitjana per veure si hi ha alguna relació.

A la figura 6.23 i 6.24 es representen les emissions en funció de la velocitat mitjana. La figura 6.23 representa tots els cicles on el vehicle s'ha d'aturar i la 6.24 els cicles on el vehicle no s'atura. En la figura 6.23 s'observa com les emissions de NOx i PM són més baixes quan la velocitat mitjana és més alta. A la figura 6.24 no es veu una clara relació entre la velocitat i les emissions però es torna a veure una relació amb el pendent de la via. S'observa que les emissions del carrer Comte Urgell en la figura 6.24 són les més elevades independentment de la velocitat mitjana.

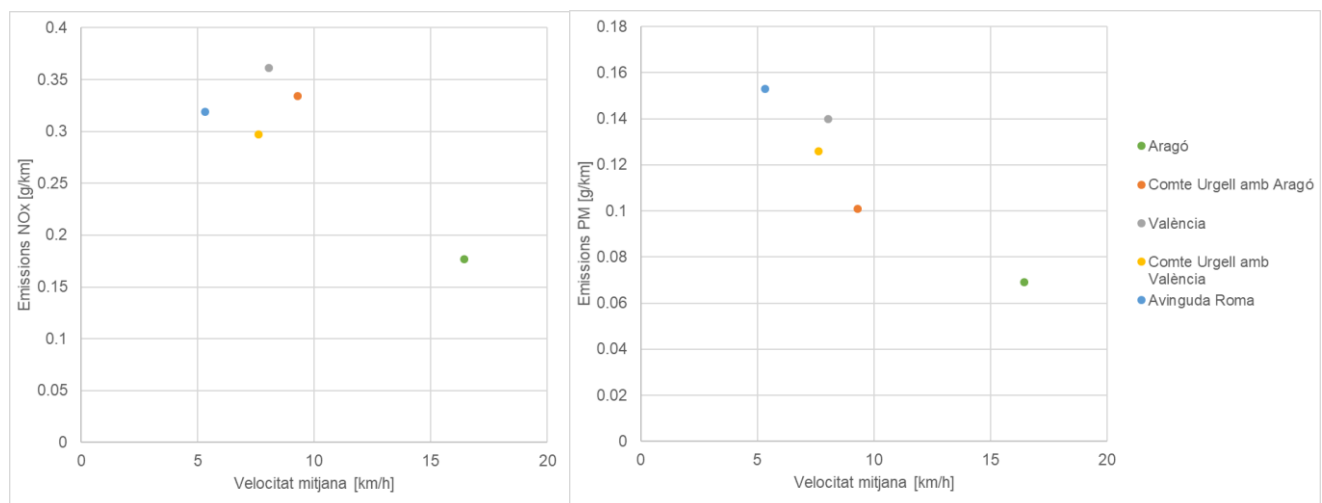


Figura 6.23: Emissions NOx i PM en funció de la velocitat mitjana per tots els carrers agrupant cicles semàfor tancat

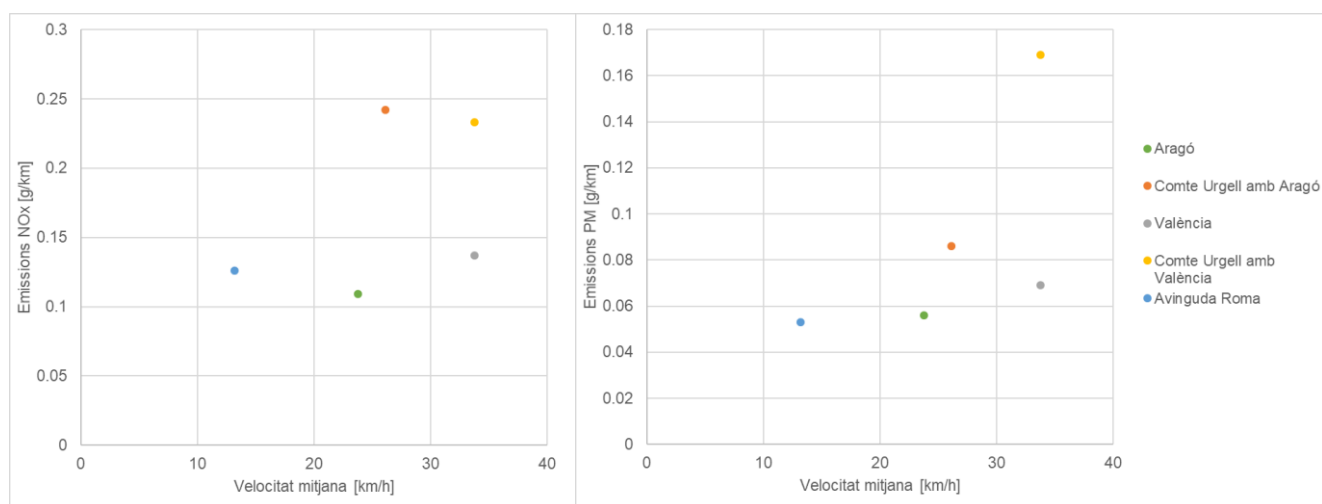


Figura 6.24: Emissions NOx i PM en funció de la velocitat mitjana per tots els carrers agrupant cicles semàfor obert

Un cop analitzada la tendència del consum de combustible i de les emissions, es vol conèixer les emissions generades i el combustible consumit per cada una de les cruïlles per tal de determinar quina és la més contaminant. En l'apartat anterior s'ha determinat que de carrer transversal tenint en compte el flux de vehicles i la distància és el carrer Aragó. Pel que fa a Comte Urgell, s'ha vist que el tram on es generen més emissions i es consumeix combustible és al semàfor de València. En la següent taula es comparen les emissions emeses i el combustible consumit de les cruïlles Aragó – Comte Urgell i València – Comte Urgell. La cruïlla d'Avinguda Roma – Comte Urgell no es compara per dos motius, primer perquè les dades de Comte Urgell són una aproximació dels altres dos trams i segon perquè s'ha vist i determinat que aquesta cruïlla afecta menys que la resta ja que el flux de vehicles és menor.

|                                 | ARAGÓ – COMTE<br>URGELL | VALÈNCIA – COMTE<br>URGELL |
|---------------------------------|-------------------------|----------------------------|
|                                 | S'atura                 | No s'atura                 |
| <b>Combustible consumit [l]</b> | 867                     | 501                        |
| <b>NOx [g]</b>                  | 127                     | 90,86                      |
| <b>PM[g]</b>                    | 53                      | 42,5                       |

*Taula 6.26: Comparació d'emissions i consum entre cruïlles*

## 7. Pressupost

En aquest punt es comptabilitzen els costos principals del treball.

- **Treball realitzat per l'estudiant**

Sou d'enginyer graduat junior: 30€/h

Hores treballades: Equivalent a 12 crèdits ECTS (28h/crèdit ECTS). Total de 336h.

Nº estudiants: 1

Cost estudiant: 10.080€

- **Feina de supervisió realitzada per la direcció de projecte**

Sou d'enginyer sènior: 40€/h

Hores enginyer senior: 35h.

Despesa de supervisió: 1.400€

- **Cost material utilitzat:**

Cost ordinador:

PVP: 700€

Vida útil ordinador: 5 anys

Duració del treball: 5 mesos

Nº ordinadors utilitzats: 1

Cost ordinador: 58,5€

Cost material d'oficina:

Papers i impressions: 50€

- **Cost transport:**

Preu del desplaçament: 0,4€/km

km: 144 km

Cost transport: 57,6€

- **Consum llum, telèfon i internet:** 400€

**COST TOTAL: 10.080+1.400+58,5+50+57,6+400 = 12.046,10€**

## 8. Impacte ambiental

El present projecte està enfocat a generar un benefici directe pel medi ambient. Es centra en detectar punts on es consumeix més combustible i es generen més emissions, per tal de millorar-ne el seu impacte ambiental. Tot i així, per dur el procés d'experimentació s'han hagut de realitzar diferents itineraris amb un vehicle, concretament un Audi 2.0TD.

L'impacte ambiental correspon a les emissions de contaminants que s'ha generat al realitzar tot el procés d'experimentació que és un total de 144km. A continuació s'indiquen les emissions de NOx i PM generades en el procés d'experimentació segons valors mitjos d'emissions:

- Emissions NOx:  
 $0,72 \text{ g/km} * 144\text{km} = 103,68\text{g NOx}$
- Emissions PM  
 $0,143 \text{ g/km} * 144\text{km} = 20,59\text{g PM}$

Per tant, s'han generat 103,68g de NOx i 20,59g de PM.

## Conclusions

S'ha efectuat la caracterització de diferents cruïlles de la ciutat de Barcelona amb dades reals obtingudes a partir d'un treball de camp i s'ha pogut estimar el consum de combustible i les emissions contaminants produïdes en aquests cicles per un vehicle Dièsel utilitzant un programa de simulació.

S'ha realitzat un procés experimental on s'han obtingut dades de posició i velocitat i també el flux de vehicles a partir d'un treball de camp que s'han comparat amb les dades de IMD de l'Ajuntament de Barcelona. Del procés d'experimentació es conclou:

- L'OBD proporciona dades més exactes que l'aplicació mòbil i per això és l'eina que s'empra en el recull de dades.
- Les dades obtingudes del flux, permeten obtenir uns primers valors suficientment acurats per determinar la quantitat de vehicles que s'aturen a una cruïlla i els que no.

A partir dels resultats de les simulacions, s'ha pogut concloure:

- El consum de combustible, i consegüentment les emissions emeses, entre els vehicles que s'aturen en les cruïlles i els que no, és diferent i no es pot menysprear.
- S'ha observat que en els cicles on el vehicle s'atura al semàfor, la velocitat mitjana és una de les variables més determinants, per sobre el pendent, en quan al consum de combustible i per tant, en les emissions generades. Com més lent és un cicle més combustible es consumeix i per tant, més emissions es generen.
- En els cicles on el vehicle no s'atura, la variable més decisiva és el pendent; té una influència més alta que la velocitat mitjana del cicle. Com més pendent més consum de combustible, de la mateixa manera que es generen més emissions.
- S'ha observat que l'efecte acordió que es produeix en alguns carrers de Barcelona representa un augment de consum de combustible i consegüentment emissions degut al procés d'acceleració i frenada.
- De l'anàlisi que s'ha dut a terme de les diferents cruïlles, s'ha determinat que la cruïlla Aragó – Comte Urgell, és la més contaminant, seguida per València – Comte Urgell i finalment, la d'Avinguda Roma – Comte Urgell.



## Treballs futurs

Aquest projecte no s'acaba aquí, sinó que es pot ampliar de la següent manera:

- 1) Comparant els resultats de les emissions obtingudes amb les que proporciona l'OBD.
- 2) Tot i que les dades obtingudes en el procés d'experimentació són correctes, es podria aprofundir en el procés d'experimentació i cercar eines que millorin l'obtenció de les dades i la determinació del flux de vehicles.
- 3) Correlacionar les emissions obtingudes de les simulacions amb les emissions que capta l'estació de vigilància i previsió atmosfèrica de l'Eixample.
- 4) Estudiar les cruïlles que es troben al voltant d'altres estacions de vigilància i prevenció atmosfèrica per veure quin és el comportament de les cruïlles d'aquestes.

# Bibliografia

## Referències bibliogràfiques

- [1] WORLD HEALTH ORGANIZATION, *How air pollution is destroying our health*,
- [2] WORLD HEALTH ORGANIZATION, *Over half a million premature deaths annually in the European Region attributable to household and ambient air pollution*,
- [3] GRUPO MONTALT, *Normativa EURO, la normativa europea sobre emisiones*,  
Desembre 2018, [<https://www.grupomontalt.com/normativa-europea-de-emisiones-euro/>, Abril 2019],
- [4] ACOSTA, S, *En Europa hay 280 ciudades con zonas de restricción al tráfico; en España, una*,  
Febrer 2019, [[https://www.eldiario.es/ballenablanca/transicion\\_energetica/ciudades-Europa-restriccion-traffic-Espana\\_0\\_870713415.html](https://www.eldiario.es/ballenablanca/transicion_energetica/ciudades-Europa-restriccion-traffic-Espana_0_870713415.html), Abril 2019],
- [5] DE LA TORRE, A, *Etiquetas medioambientales y restricciones de circulación: así es la regulación en España y en Europa*, Juny 2019 [<https://www.autopista.es/noticias-motor/articulo/etiquetas-medioambientales-y-restricciones-de-circulacion-regulacion-en-espana-europa>, Juliol 2019]
- [6] MASCLANS, P., *Caracterització de cicles de conducció de vies de Barcelona per estimar les emissions de contaminants*. Gener 2018
- [7] AJUNTAMENT DE BARCELONA, *La red de vigilancia y previsión de la contaminación atmosférica*, [<https://ajuntament.barcelona.cat/qualitativa/es/qualitat-de-laire/com-es-lluita-contra-la-contaminacio/la-red-de-vigilancia-y-prevision-de-la>, Maig 2019]
- [8] AJUNTAMENT DE BARCELONA. DEPARTAMENT D'ESTADÍSTICA. *Volum de trànsit (mitjana diària de vehicles en dia feiner) als carrers amb més intensitat circulatòria*.  
2012-2016.  
[<https://www.bcn.cat/estadistica/catala/dades/anuari/cap15/C1511020.htm>, Maig 2019]
- [9] AJUNTAMENT DE BARCELONA, *Dades bàsiques de mobilitat 2015*,  
[<http://mobilitat.ajuntament.barcelona.cat/ca/documentació>, Maig 2019]

- [10] DÍAZ, J.O., *Estimació del consum de combustible i les emissions de NOx i partícules associades en un tram de via urbana segons la tipologia de vehicles que hi circulen*, Juliol 2017
- [11] AJUNTAMENT DE BARCELONA. DEPARTAMENT D'ESTADÍSTICA. *Tipologia dels vehicles*. 2013-2017  
[<https://www.bcn.cat/estadistica/catala/dades/anuari/cap15/C1509010.htm>], Setembre 2019]